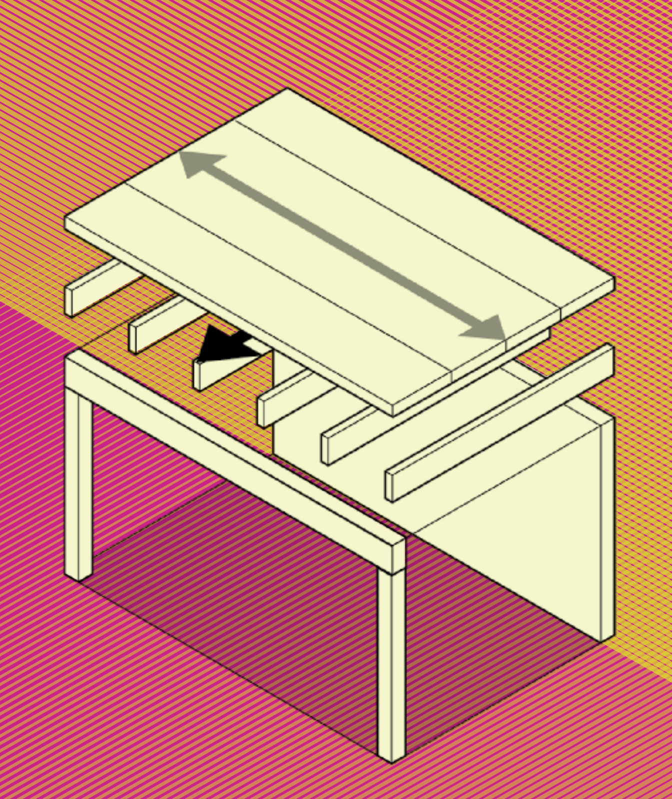
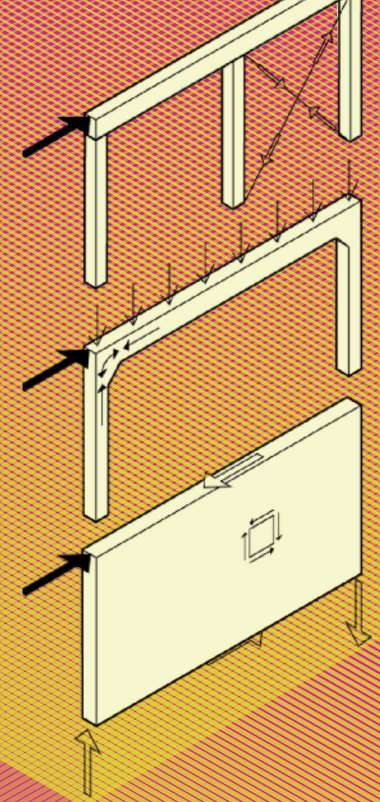
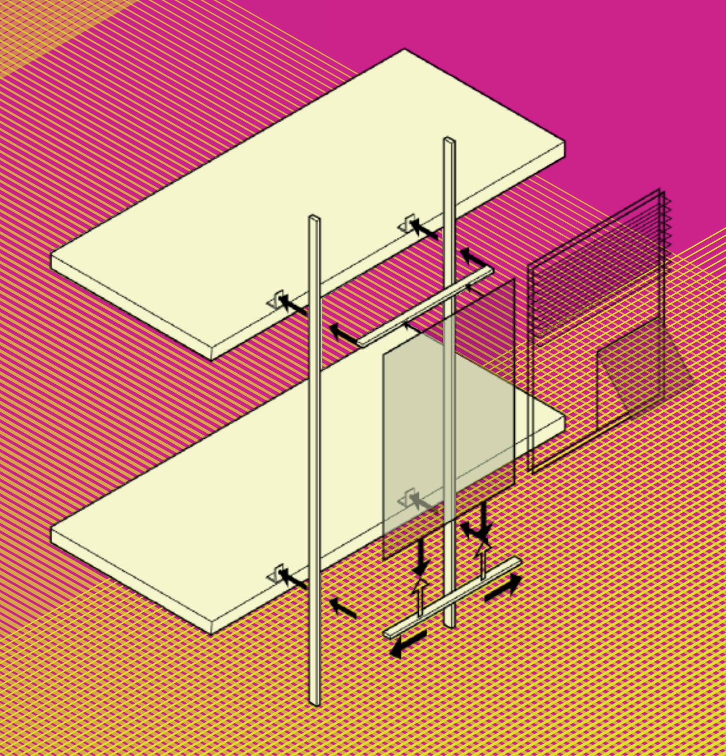
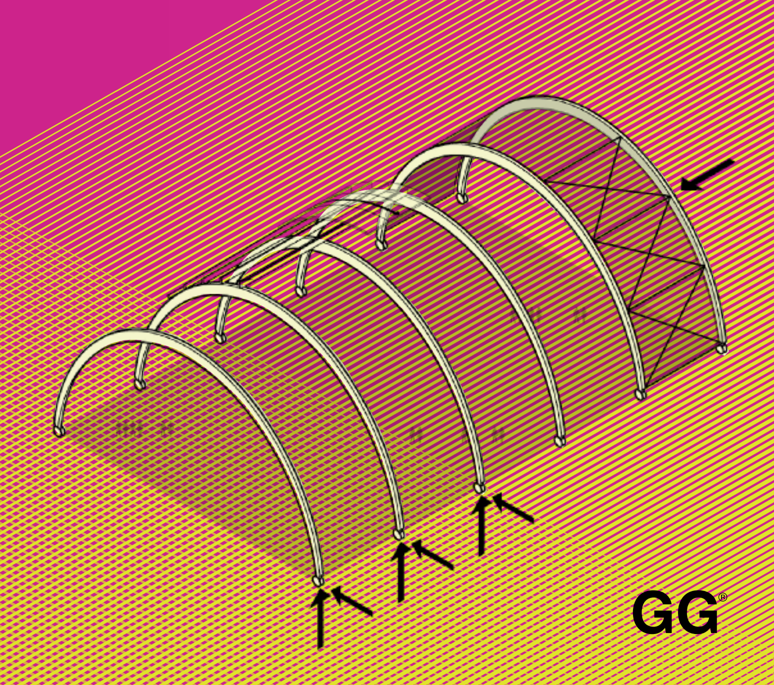



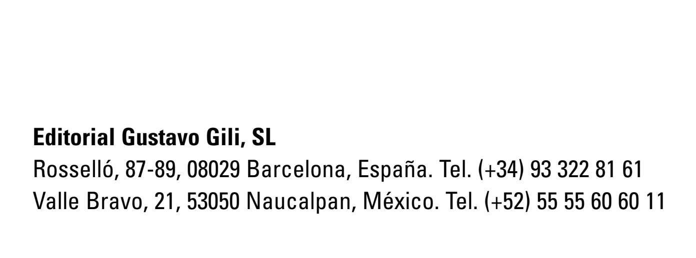
MANUAL DE ESTRUCTURAS ILUSTRADO

FRANCIS D. K. CHING
BARRY S. ONOUYE · DOUGLAS ZUBERBUHLER

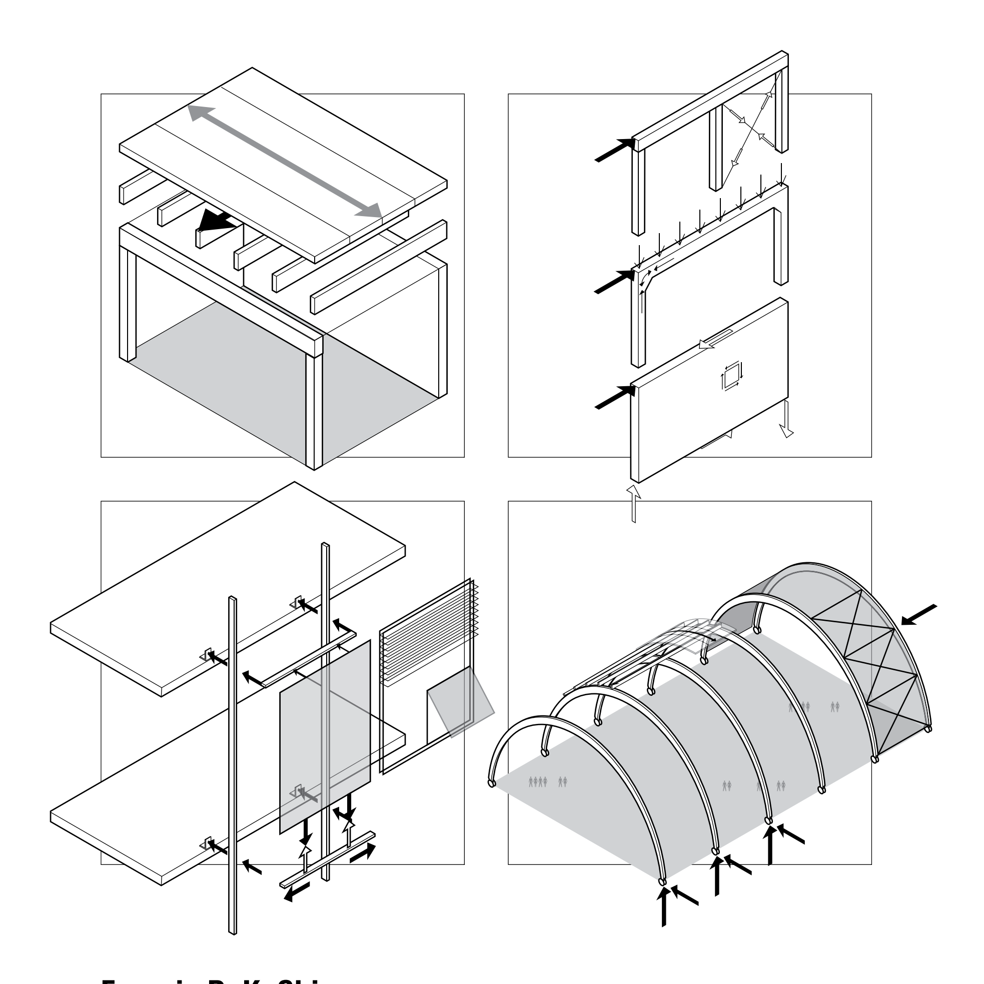



GG

Manual de estructuras ilustrado


Editorial Gustavo Gili, SL
Rosselló, 87-89, 08029 Barcelona, España. Tel. (+34) 93 322 81 61
Valle Bravo, 21, 53050 Naucalpan, México. Tel. (+52) 55 55 60 60 11

Manual de estructuras ilustrado



Francis D. K. Ching
Barry Onouye
Douglas Zuberbuhler

Traducción de Carlos Jiménez Romea

GG®

Título original: *Building Structures Illustrated*, publicado
por John Wiley & Sons, Inc., Hoboken (Nueva Jersey), 2009.

Diseño de la cubierta: RafamateoStudio

ISBN: 978-84-252-2241-2 (digital PDF)
www.ggili.com

Índice

Prólogo

El ámbito de las estructuras cuenta con numerosos textos y muy destacados. Unos centran su atención en aspectos como la estática y la resistencia de materiales, en el diseño y el análisis de elementos estructurales, como vigas y pilares, o en determinados materiales estructurales. Para los profesionales es fundamental comprender el comportamiento de los distintos elementos estructurales bajo distintos estados de carga, ya que de ahí se deriva la habilidad de elegir los materiales, las formas, las dimensiones y los sistemas constructivos más adecuados en cada caso. Este libro centra sus esfuerzos en presentar las estructuras como sistemas de elementos interrelacionados que sirven para crear y dar soporte a los entornos habitables que denominamos arquitectura.

Una característica esencial de esta publicación es que se aproxima a las estructuras de una forma global. Parte de una revisión concisa de la evolución de los sistemas estructurales a lo largo de la historia, y plantea la idea de que estos esquemas estructurales, patrones de soportes y vigas, no solo sirven para fines estructurales, sino que también refuerzan una determinada idea arquitectónica. El núcleo de este libro consiste en un examen de los sistemas horizontales y verticales que albergan nuestras actividades, y cómo contribuyen a las dimensiones verticales de la forma y el espacio. A continuación revisa los aspectos críticos de la estabilidad y las cargas laterales, las propiedades específicas de las estructuras de grandes luces y las estrategias actuales para edificios de gran altura. El capítulo final contiene una breve e importante revisión de la integración de los sistemas estructurales con otros elementos de la edificación.

Aunque este texto evita deliberadamente una aproximación estrictamente matemática a las estructuras, no deja de lado los principios fundamentales que gobiernan el comportamiento de los elementos, sus conexiones y sistemas estructurales. Con el fin de servir de guía en el proceso preliminar de proyecto, todos los temas están ilustrados con numerosas ilustraciones que informan, instruyen y, tal vez, inspirarán ideas sobre cómo un modelo estructural puede apoyar una idea de proyecto.

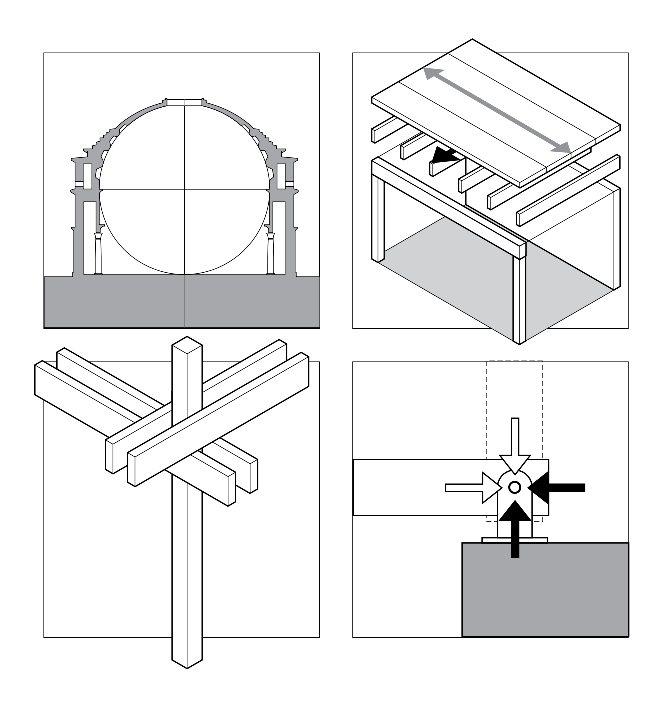
Los autores confían en que este trabajo tan pródigo en ilustraciones sirva como recurso de consulta tanto para estudiantes de arquitectura como para jóvenes profesionales, a la hora de comprender los sistemas estructurales como parte esencial e integral del proceso y de la ejecución del proyecto.

Equivalentes métricos

El Sistema Internacional (SI) de unidades es un sistema de unidades físicas coherentes aceptado en el ámbito internacional. Emplea el metro, el kilogramo, el segundo, el amperio, el grado kelvin y la candela como unidades básicas de longitud, masa, tiempo, corriente eléctrica, temperatura e intensidad luminosa respectivamente. Para reforzar la comprensión del SI, a lo largo del libro se proporcionan equivalentes métricos de acuerdo con las siguientes convenciones:

- Todas las cifras se indican en metros (m), centímetros (cm) o milímetros (mm) conforme a las convenciones de los distintos oficios del sector de la construcción.
- Se han incluido entre paréntesis las medidas en pies y en pulgadas en aquellos casos en los cuales se ha considerado relevante o informativo (por ejemplo, por tratarse de productos comerciales que se fabrican siguiendo dicho sistema de unidades).
- 1 pie = 0,305 m; 1 pulgada = 1″ = 25,4 mm.

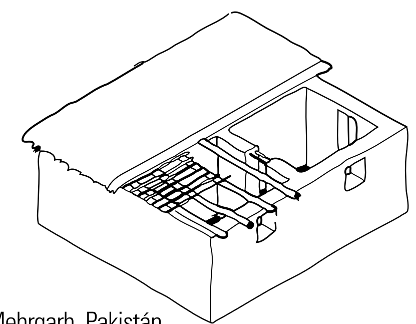
1
Estructuras



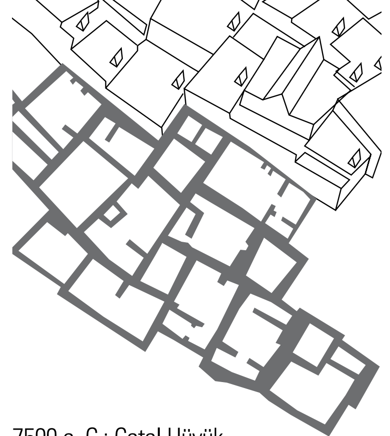
Los edificios —construcciones relativamente permanentes que se levantan sobre un pedazo de terreno para que sean habitables— han evolucionado a lo largo de la historia desde simples refugios construidos con palos, adobe o piedra, a las construcciones más sofisticadas de hormigón, acero y vidrio de la actualidad. A lo largo de esta evolución de la tecnología de la construcción, lo que ha sido constante es la presencia continua de algunas formas y sistemas estructurales capaces de hacer frente a la gravedad, el viento y en ocasiones los terremotos.

Podemos definir 'sistema estructural' como la unión estable de elementos diseñados para que funcionen como una unidad que soporta y transmite al terreno las cargas correspondientes, de una forma segura y sin exceder la resistencia de cada uno de los elementos. Mientras que las formas y los materiales de los sistemas estructurales han evolucionado debido a los avances tecnológicos y culturales, sin olvidar la experiencia derivada de los numerosos edificios que se han derrumbado, hay cuestiones que siguen siendo esenciales para todo tipo de edificio, con independencia de su escala, contexto o función.

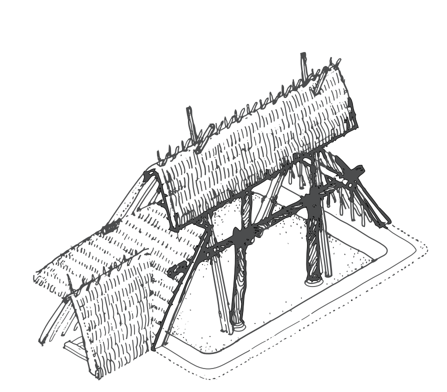
La breve reseña que sigue a continuación ilustra el desarrollo de los sistemas estructurales a lo largo de la historia, desde los primeros intentos para satisfacer las necesidades humanas fundamentales de refugio frente al sol, el viento o la lluvia, a las mayores luces, alturas y complejidad de la arquitectura moderna.



6500 a. C.: Mehrgarh, Pakistán.
Estructuras tabicadas de adobe.



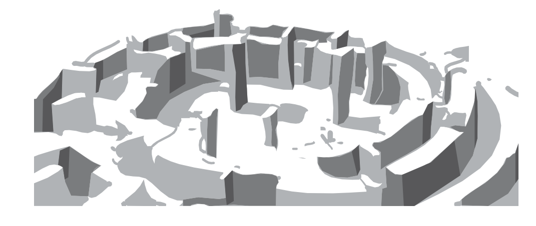
7500 a. C.: Catal Hüyük (Anatolia), Turquía.
Viviendas de adobe con muros interiores revestidos.



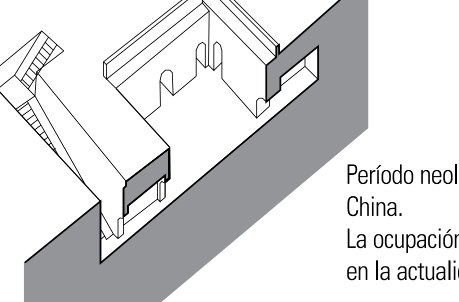
5000 a. C.: Banpo, China.
Vivienda con pilares gruesos para soportar la techumbre.

5000 a. C. Edad del Bronce

El período neolítico comenzó con el advenimiento de la agricultura en torno al 8500 a. C., y dio paso a la primera Edad del Bronce con el desarrollo de las herramientas de metal en torno al 3500 a. C. La práctica de utilizar cuevas como refugio y residencia ya venía produciéndose desde hacía miles de años, y continuó desarrollándose como forma arquitectónica, desde simples extensiones de cuevas naturales hasta templos e iglesias excavados en laderas de montañas.

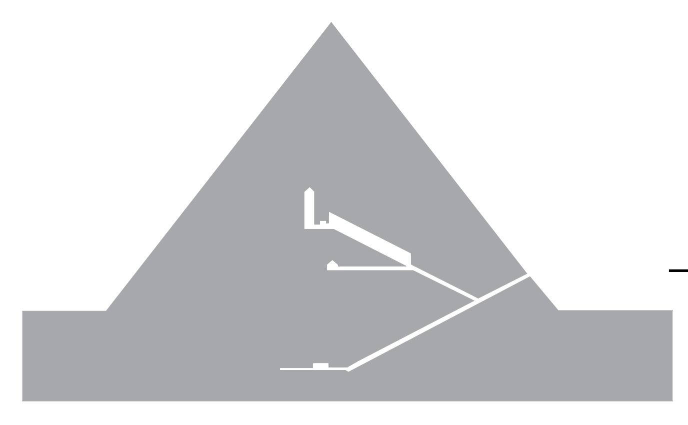


Göbekli Tepe, Turquía.
El templo de piedra más antiguo del mundo que se conoce.

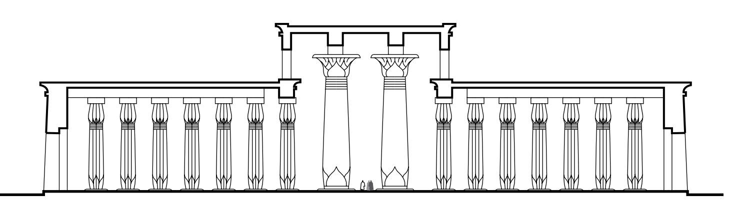


Período neolítico: norte de la provincia de Shaanxi, China.
La ocupación de cuevas como vivienda continúa en la actualidad.

3400 a. C.: los sumerios introdujeron los hornos cerámicos.



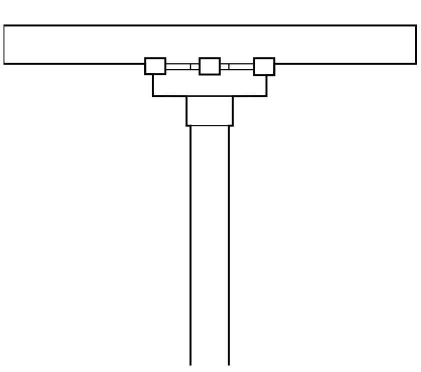
2500 a. C.: Gran Pirámide de Keops, Egipto.
Hasta el siglo XIX esta pirámide de piedra era la estructura más alta del mundo.



1500 a. C.: templo de Amón, Karnak, Egipto.
La sala hipóstila es un ejemplo sobresaliente de la construcción adintelada en piedra.



2600 a. C.: Harappa y Mohenjo-Daro, valle del Indo, Pakistán.
Ladrillos cocidos y falsos arcos.



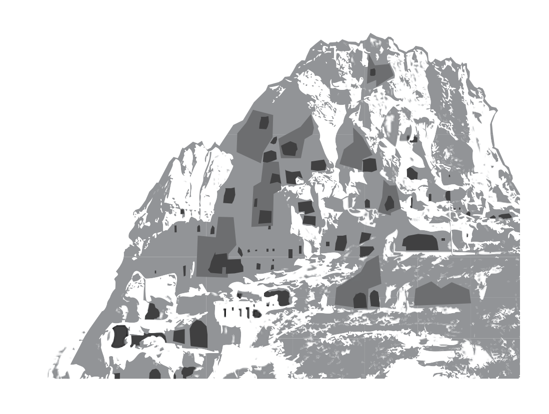
Siglo XII a. C.: arquitectura de la dinastía Zhou.
Ménsulas (dougong) sobre los capiteles de las columnas que ayudan a apoyar los aleros volados.

2500 a. C. **1000 a. C.** Edad del Hierro

Mientras que el uso de cuevas como vivienda perdura en diversos formatos y en distintas partes del mundo, la mayor parte de la arquitectura se construye con una combinación de materiales que definen unos límites espaciales para dar refugio, albergar la vida doméstica, conmemorar eventos o convertirse en monumentos. Las primeras viviendas consistían en entramados de madera toscos, con muros de adobe y tejado de paja. En ocasiones se excavaba en el terreno para proporcionar calor y protección añadidos; otras veces, la vivienda se elevaba sobre el terreno para mejorar la ventilación en climas cálidos y húmedos, o para protegerse de la crecida de ríos o lagos. La utilización de piezas pesadas de madera para el entramado de los muros o para salvar las luces de la cubierta ha seguido evolucionando a lo largo del tiempo y se ha perfeccionado, especialmente en la arquitectura china, coreana y japonesa.



3000 a. C.: Alvastra, Suecia.
Viviendas elevadas sobre pilotes de madera.



1000 a. C.: Capadocia (Anatolia), Turquía.
Excavaciones extensivas dieron lugar a viviendas, iglesias y monasterios.

3000 a. C.: Los egipcios mezclaban paja con barro para ligar el adobe.

1500 a. C.: Los egipcios trabajaban el vidrio fundido.

1350 a. C.: La dinastía Shang (China) desarrolló un proceso avanzado de moldeado en bronce.

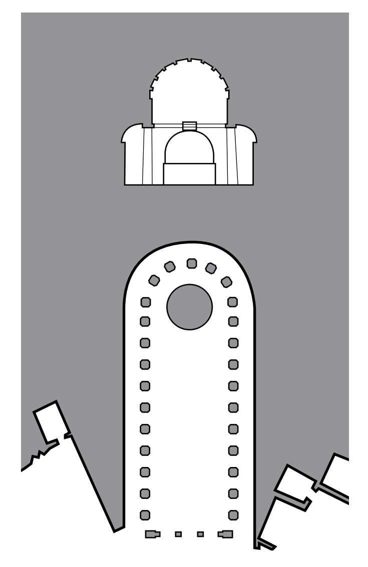
447 a. C.: Partenón, Atenas, Grecia. Este templo dedicado a Atenea es considerado la culminación del orden dórico.

Siglo III a. C.: Gran Stupa de Sanchi, India. Monumento budista en piedra tallada.

70 d. C.: Coliseo de Roma, Italia. Anfiteatro de hormigón y ladrillo revestido de piedra.

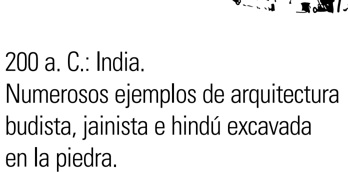
Siglo IV a. C.: Porta Pulchra, Perugia, Italia. Los etruscos desarrollaron el arco y la bóveda de fábrica.

500 a. C. **1 d. C.**



200 a. C.: India. Numerosos ejemplos de arquitectura budista, jainista e hindú excavada en la piedra.

10 a. C.: Petra, Jordania. Tumbas reales medio exentas, medio excavadas en la roca.



Siglo V a. C.: Hierro fundido en China.

Siglo IV a. C.: Los babilonios y los asirios utilizaban betún para ligar ladrillos y piedras.

Siglo III a. C.: Los romanos hacían hormigón con cemento puzolánico.

Siglo III: Tikal, Guatemala.
Ciudad maya de pirámides y palacios de piedra.

125 d. C.: Panteón de Roma, Italia.
Mayor cúpula nervada del mundo hasta el siglo XVIII.

Siglo VII: arquitectura de la dinastía Tang.
Entramado de madera resistente a terremotos que incorpora pilares, vigas, correas y numerosas ménsulas voladas.

800

532-537 d. C.: Santa Sofía de Constantinopla (actual Estambul), Turquía. Cúpula central sobre pechinas que permiten la transición de una bóveda circular a una planta cuadrada. Se utiliza hormigón en la construcción de las bóvedas y los arcos de los niveles inferiores.

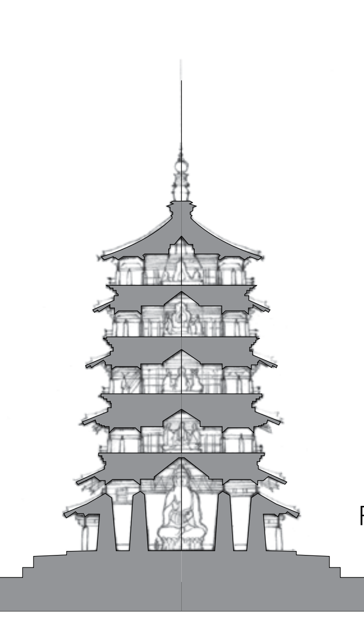
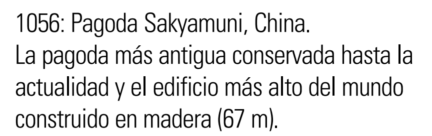


460 d. C.: Grutas de Yungang, China. Templos budistas excavados en colinas de arenisca.

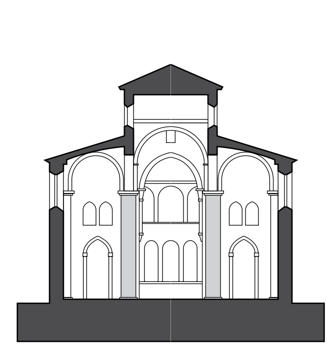


752 d. C.: Todaiji, Nara, Japón. Este templo budista es la mayor construcción en madera del mundo; la actual reconstrucción alcanza dos tercios del tamaño original del templo.

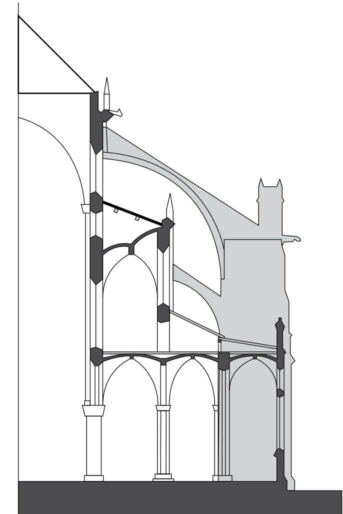
Siglo II: Invención del papel en China.

1056: Pagoda Sakyamuni, China.
La pagoda más antigua conservada hasta la actualidad y el edificio más alto del mundo construido en madera (67 m).



Siglo XI: Abadía de san Filiberto, Tournus, Francia. Pilares cilíndricos sin decoración con un diámetro de 1,2 m soportan la espaciosa y luminosa nave.



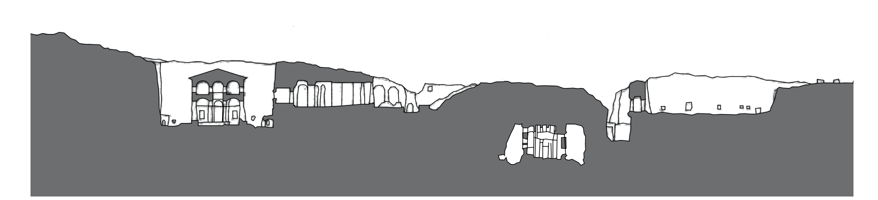
1163-1250: Catedral de Notre Dame, París, Francia. La estructura de piedra natural recurre a arbotantes para transmitir los empujes laterales de las bóvedas a los contrafuertes.



1100: Chan. Ciudadela con muros de tapial revestido.

900

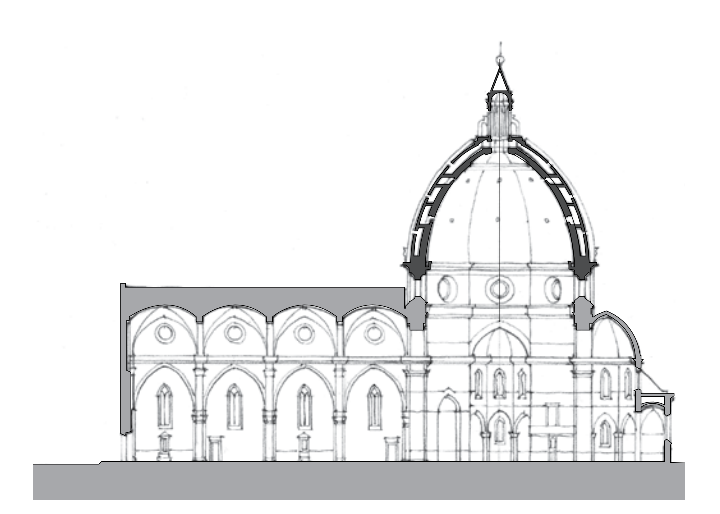
Allí donde había disponibilidad de piedra, este era el material que se utilizaba en primer lugar para establecer barreras defensivas y muros de carga que soportaran vigas de madera en forjados y cubiertas. Las bóvedas y las cúpulas de fábrica permitieron aumentar las alturas y las luces, mientras que el desarrollo de los arcos apuntados, las columnas compuestas y los arbotantes permitieron la creación de estructuras de piedra más ligeras, abiertas y esquemáticas.



1100: Lalibela, Etiopía.
Emplazamiento de una serie de iglesias excavadas en la roca.

1170: Fabricación de hierro fundido en Europa.

Siglo XV: Filippo Brunelleschi desarrolló la teoría de la perspectiva lineal.



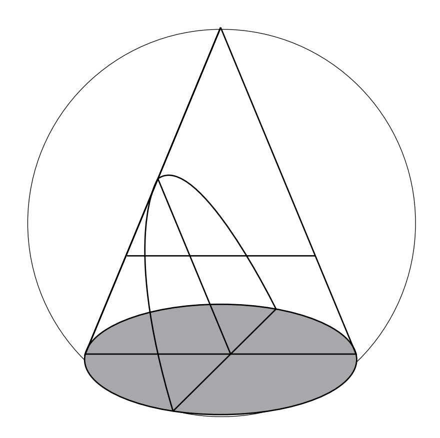
Siglo XIII: Catedral de Florencia, Italia.
Filippo Brunelleschi proyectó una cúpula de doble cáscara, apoyada sobre un tambor que permitiera su construcción sin necesidad de armar andamios desde el suelo.



1506-1615: Donato Bramante, Miguel Ángel y Giacomo della Porta, basílica de San Pedro, Roma, Italia.
Hasta hace poco, la iglesia más grande jamás construida, con una superficie de 23.000 m^2.

1400 **1600**

En fecha tan temprana como el siglo VI, las arcadas principales de Santa Sofía de Constantinopla incorporaban barras de hierro a modo de tirantes. Durante la Edad Media y el Renacimiento, el hierro se utilizó tanto en elementos decorativos como estructurales, tales como conectores y tirantes, para reforzar las estructuras de fábrica. Sin embargo, no fue hasta el siglo XVIII cuando los nuevos métodos de fabricación permitieron forjar y colar hierro en grandes cantidades para ser utilizado como material para las estructuras de las estaciones de ferrocarril, mercados y otros edificios públicos. La masa de los muros y columnas de piedra sirve de transición a la ligereza de los pórticos de hierro.



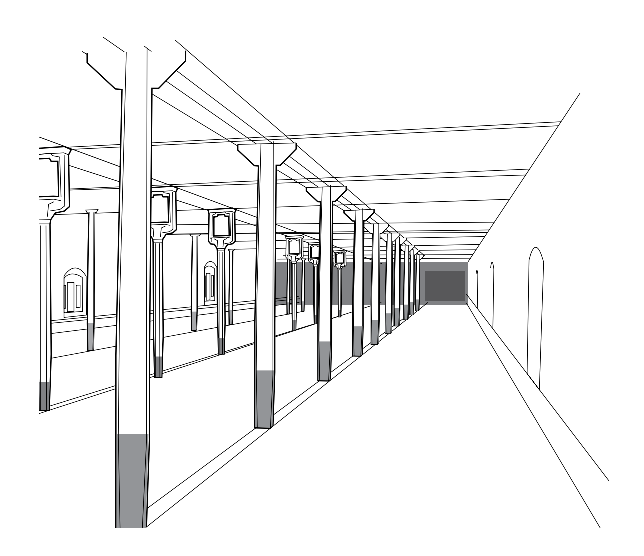
1638: Galileo Galilei publicó su primer libro, *Consideraciones y demostraciones matemáticas sobre dos nuevas ciencias*, refiriéndose estas dos ciencias a la resistencia de los materiales y el movimiento de los objetos.

Principios del siglo XVI: Los altos hornos pueden producir grandes cantidades de hierro fundido.

1687: Isaac Newton publicó *Philosophiae Naturilis Principia Mathematica*, que describe la gravitación universal y los tres principios de la dinámica, estableciendo los fundamentos de la mecánica clásica.



1653: Ahmad Lahauri, Taj Mahal, Agra, India.
Este famoso mausoleo con cúpula de mármol blanco fue construido en memoria de Mumtaz Mahai, esposa del emperador mogol Shah Jahan.

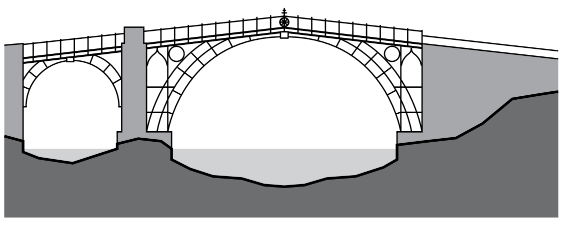


1797: William Strutt, molino de lino Ditherington, Shrewsbury, Reino Unido.
El primer edificio del mundo construido con una estructura de pilares y vigas de fundición.

1700 **1800**

Finales del siglo XVIII y comienzos del XIX:
La Revolución Industrial introdujo cambios fundamentales en la agricultura, la manufactura y el transporte que alteraron el clima socioeconómico y cultural en Reino Unido y el resto del mundo.

Los sistemas de calefacción central se generalizaron a principios del siglo XIX, cuando la Revolución Industrial provocó un incremento en el tamaño de los edificios dedicados a usos industriales, residenciales y otros servicios.



1777-1779: T. M. Pritchard, puente de hierro, Coalbrookdale, Reino Unido.

1711: Abraham Darby produjo fundición de alta calidad con hornos de coque y moldes recubiertos de arena.

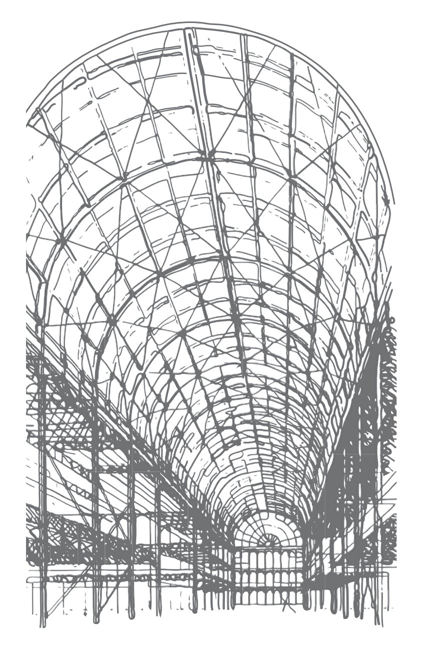
1801: Thomas Young estudió la elasticidad y puso su nombre al módulo elástico.

1735: Charles Maria de la Condamine encontró caucho en América del Sur.

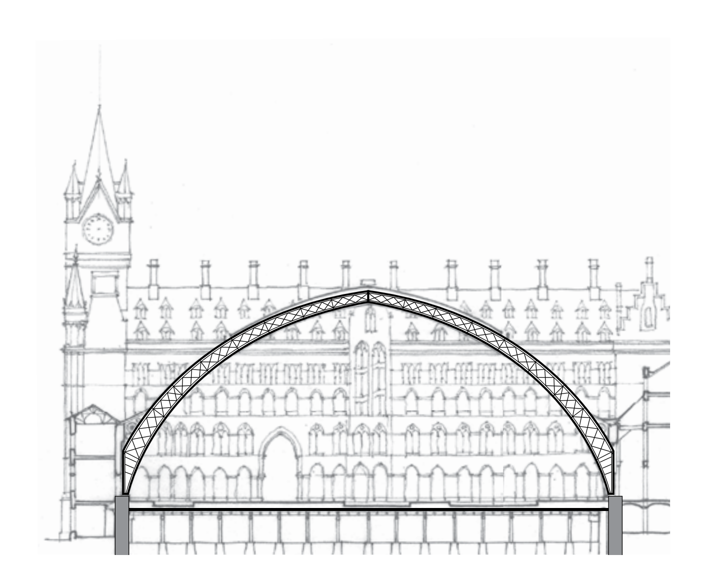
1738: Daniel Bernoulli relacionó la circulación de los fluidos con su presión.

1778: Joseph Bramah patentó un inodoro funcional.

1779: Bry Higgins patentó un cemento hidráulico para revestimientos exteriores.



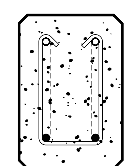
1851: John Paxton, Crystal Palace, Londres, Reino Unido.
Se ensamblaron piezas prefabricadas de hierro forjado y vidrio para crear un espacio expositivo de más de 90.000 m^2.



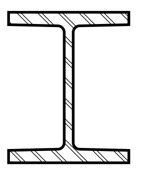
1868: William Barlow, estación de St. Pancras, Londres, Reino Unido.
Estructura de arco triangulado atirantado por debajo del nivel del suelo para resistir los empujes laterales.

1860

Existen evidencias de que los chinos utilizaron una mezcla de cal y cenizas volcánicas para construir las pirámides de Shaanxi hace varios miles de años, pero fueron los romanos quienes desarrollaron un hormigón hidráulico a partir de ceniza puzolánica, muy similar al hormigón moderno producido a partir de cemento pórtland. La fórmula del cemento pórtland, patentada por Joseph Aspdin en 1824, y la invención del hormigón armado, atribuida a Joseph-Louis Lambot en 1848, potenció el uso del hormigón en estructuras.



La era moderna en la fabricación de acero comenzó en 1856, cuando Henry Bessemer describió un proceso para producir acero a gran escala y con un precio relativamente bajo.



1850: Henry Waterman inventó el ascensor.

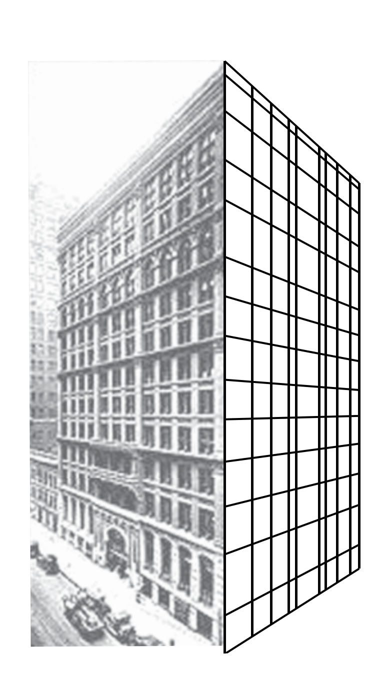
1853: Elisha Otis introdujo el freno de emergencia para evitar la caída de la cabina del ascensor en caso de ruptura del cable. El primer ascensor Otis se instaló en Nueva York en 1857.

1824: Joseph Aspdin patentó la fabricación del cemento pórtland.

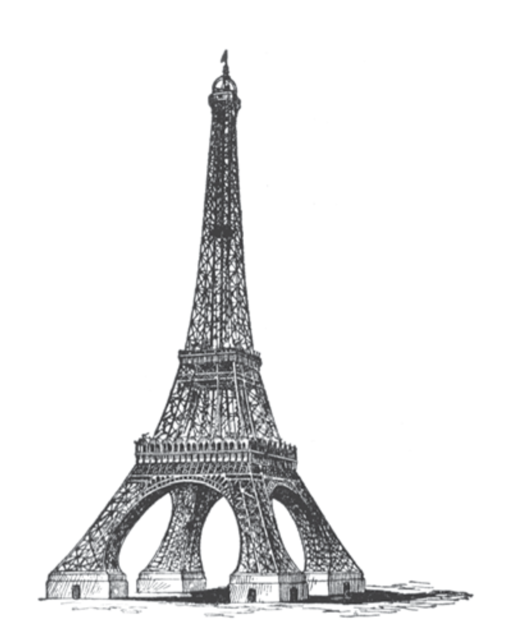
1827: George Ohm formuló la ley que relaciona corriente, voltaje y resistencia.

1855: Alexander Parkes patentó el celuloide, el primer material plástico sintético.

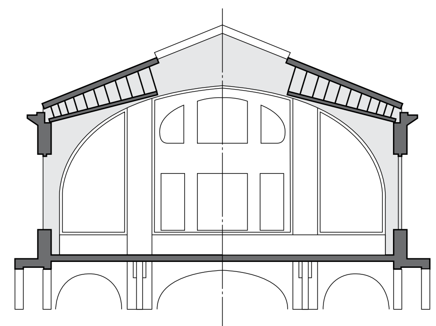
1867: Joseph Monier patentó el hormigón armado.



1884: William Le Baron Jenney, edificio de la Home Insurance, Chicago, Estados Unidos. Este entramado de acero y fundición de diez plantas de altura soporta la mayor parte del peso de los forjados y los muros exteriores.

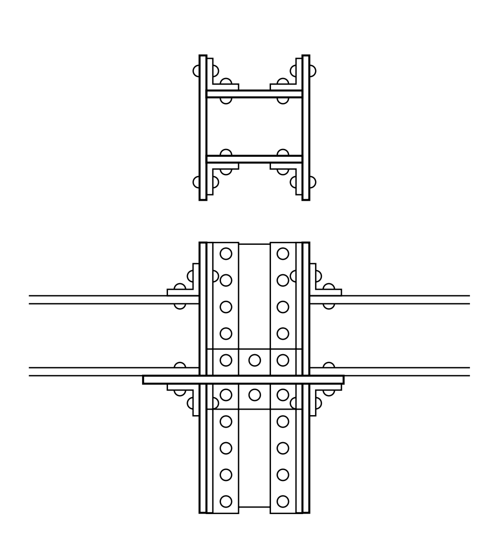


1889: Gustave Eiffel, torre Eiffel, París, Francia. La torre reemplazó al monumento a Washington como estructura más alta del mundo, título que mantuvo hasta la construcción del edificio Chrysler de Nueva York en 1930.

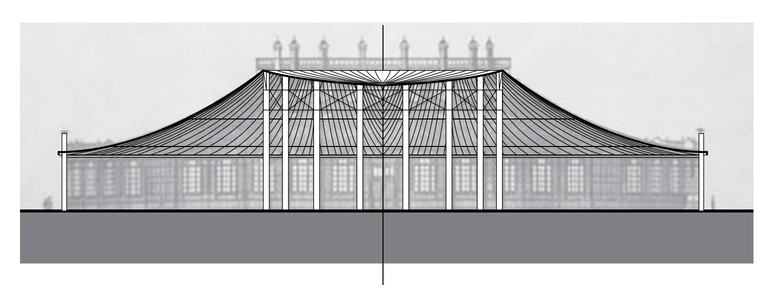


1898: Eduard Züblin, piscina pública en Gebweiler, Francia. La bóveda de hormigón armado de la cubierta consta de cinco armazones rígidos separados por chapas.

1875 **1900**



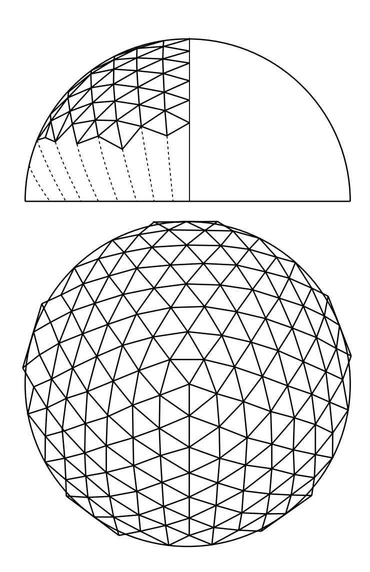
1881: Charles Louis Strobel estandarizó los perfiles de acero forjado y las conexiones roblonadas.



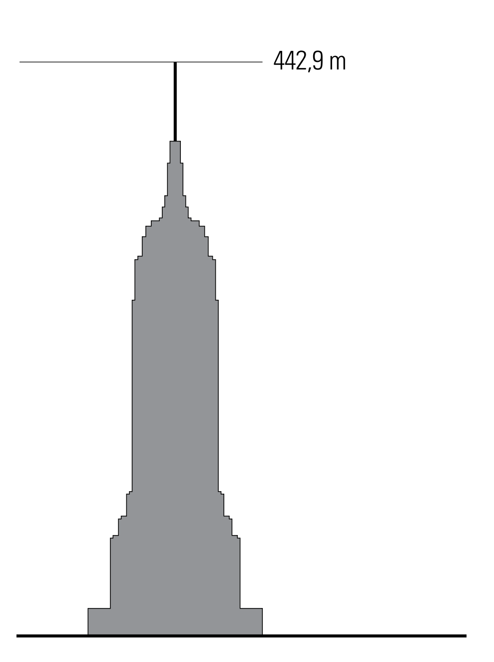
1896: Pabellón Rotonda diseñado por Vladímir Shukhov para la Exposición Rusa de Artes y Actividades Industriales celebrada en Nizhny Novgorod, Rusia. La primera estructura tensada de acero del mundo.



1903: Elzner & Anderson, edificio Ingalls, Cincinnati (Ohio), Estados Unidos.
Primer rascacielos de hormigón armado.

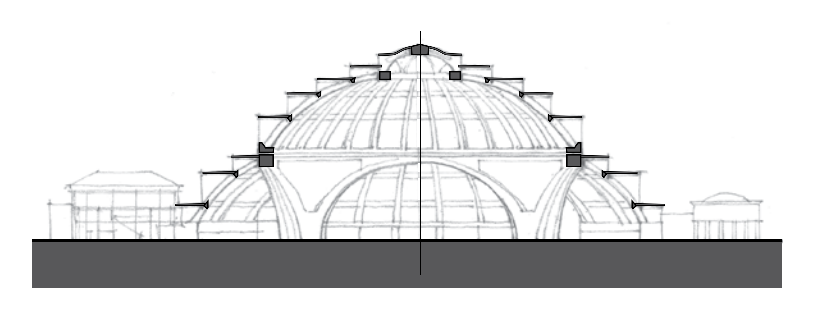


1922: Walter Bauerfeld, planetario, Jena, Alemania.
Primer registro de una cúpula geodésica contemporánea, a partir de un icosaedro.



1931: Shreve, Lamb & Harmon, Empire State, Nueva York, Estados Unidos.
Edificio más alto del mundo hasta 1972.

1940



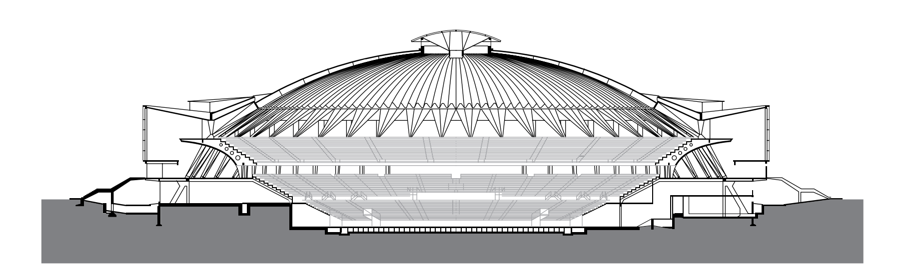
1913: Max Berg, Jahrhunderthalle, Breslau, Alemania. Esta estructura de hormigón armado, con una cúpula de 65 m de diámetro, ha sido muy influyente en la utilización posterior del hormigón para cubrir grandes espacios públicos.

Con la llegada de aceros de alta calidad y de la técnicas informáticas de análisis de estructuras, las estructuras de acero se han vuelto más ligeras y las conexiones más refinadas, permitiendo un amplio abanico de formas estructurales.

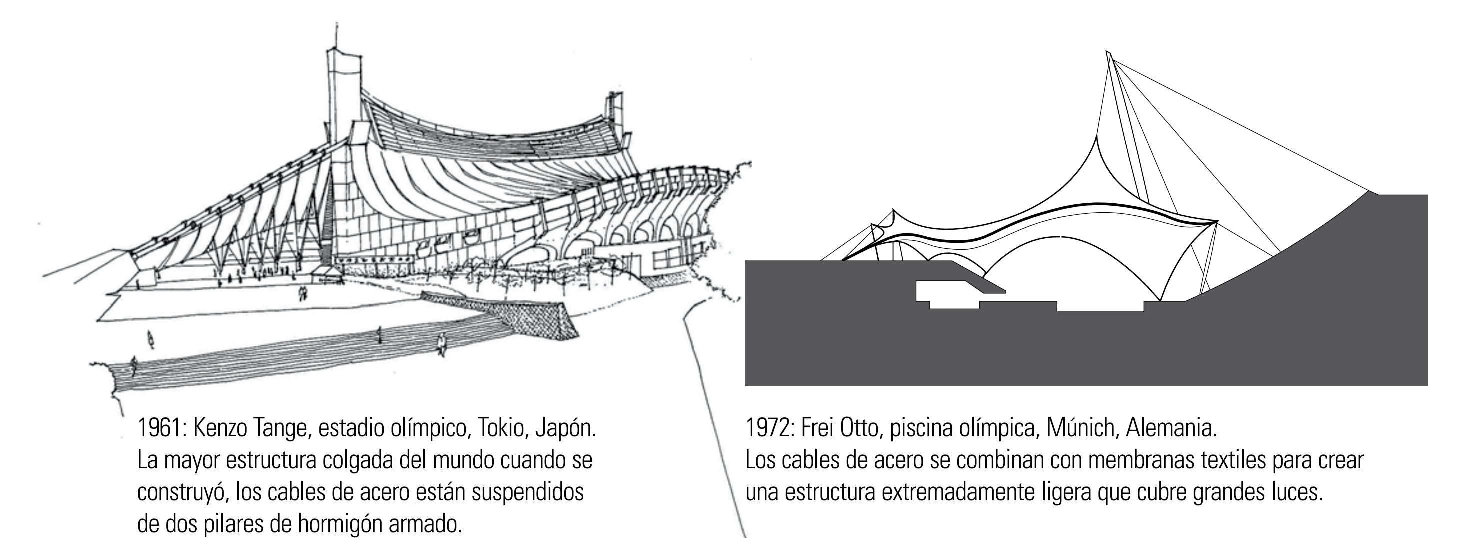
1903: Alexander Graham Bell experimentó con las formas estructurales tridimensionales, que posteriormente dieron lugar a las mallas espaciales de Richard Buckminster Fuller, Max Mengeringhausen y Konrad Wachsmann.

1919: Walter Gropius fundó la Bauhaus.

1928: Eugène Freyssinet inventó el hormigón pretensado.



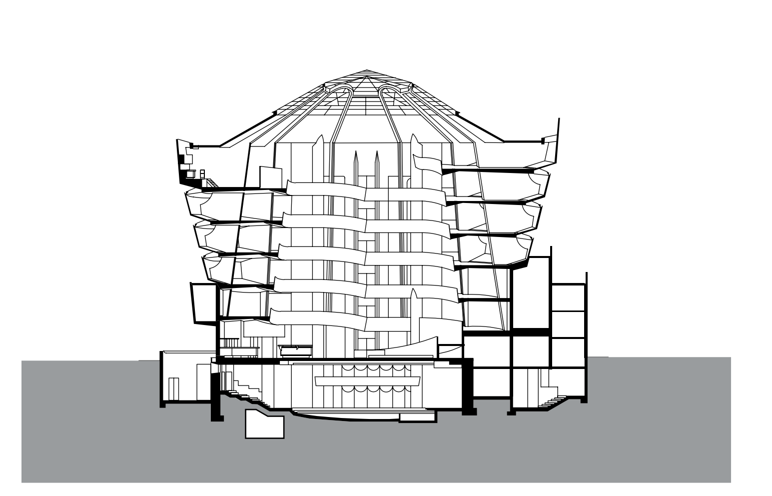
1960: Pier Luigi Nervi, Palacio de los Deportes, Roma, Italia. Cúpula nervada de 100 m de diámetro de hormigón armado, construida para los Juegos Olímpicos de 1960.



1961: Kenzo Tange, estadio olímpico, Tokio, Japón. La mayor estructura colgada del mundo cuando se construyó, los cables de acero están suspendidos de dos pilares de hormigón armado.

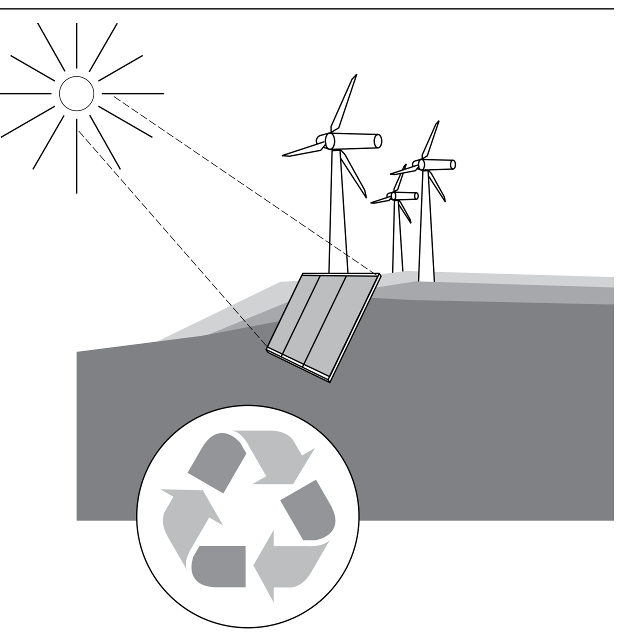
1972: Frei Otto, piscina olímpica, Múnich, Alemania. Los cables de acero se combinan con membranas textiles para crear una estructura extremadamente ligera que cubre grandes luces.

1950 **1975**



1943-1959: Frank Lloyd Wright, Guggenheim Museum, Nueva York, Estados Unidos.

1955: Se extiende el uso comercial de computadoras.



1973: El aumento del precio del petróleo estimuló la investigación en fuentes alternativas de energía, y fomentó que la conservación de la energía se convirtiera en un elemento fundamental del proyecto arquitectónico.

762 m

Comenzado en 2004: Adrian Smith & SOM, Burj Dubai, Emiratos Árabes Unidos. Se convirtió en el edificio más alto del mundo, una vez completado en 2009.

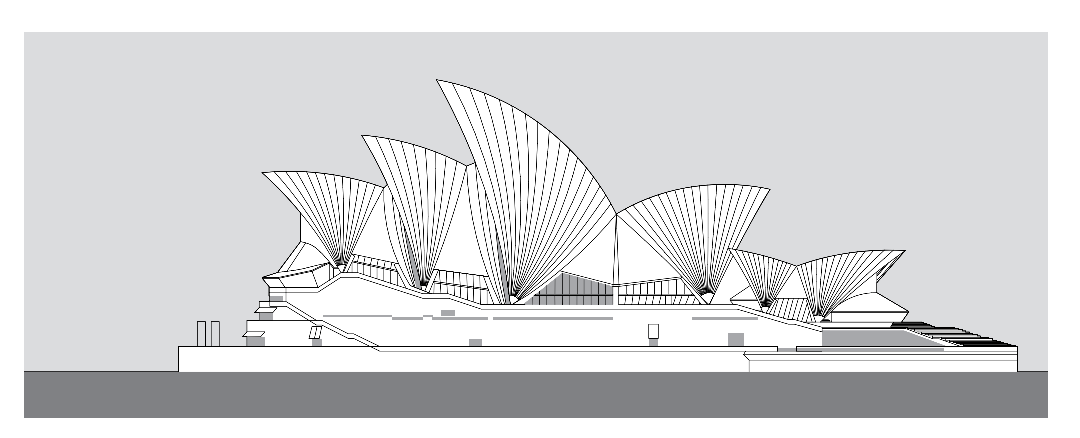
609 m

2004: C. Y. Lee & Partners, Taipei 101, Taiwan. Estructura de entramado de hormigón y acero, utiliza un amortiguador de masas.

457 m

1998: César Pelli, torres Petronas, Kuala Lumpur, Malasia. Edificios más altos del mundo hasta la construcción en 2004 del Taipéi 101.

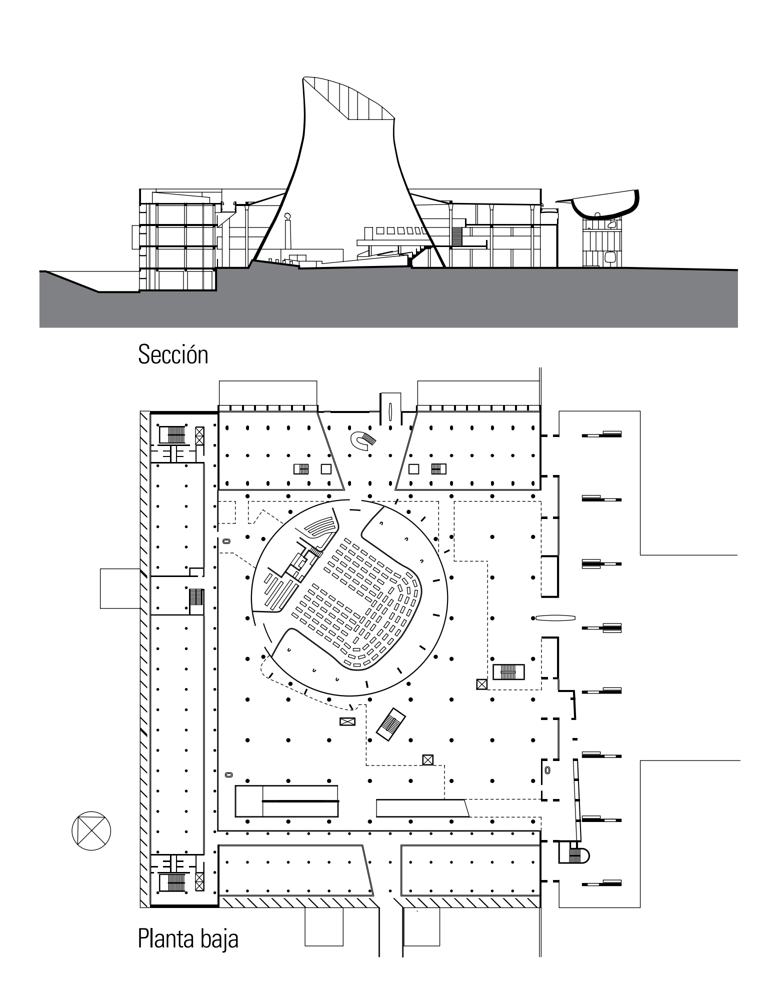
2000



1973: Jørn Utzon, ópera de Sídney, Australia. Las icónicas cáscaras de esta estructura están construidas con nervios de hormigón prefabricado moldeados in situ.

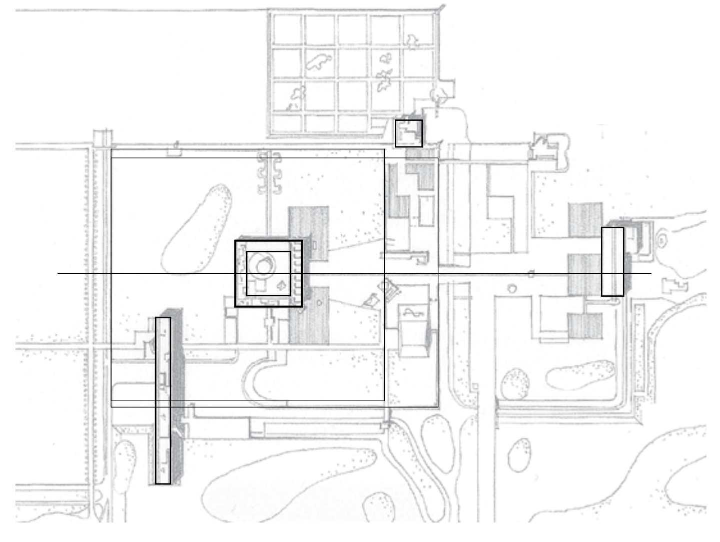
La reseña histórica de las páginas anteriores aporta un sentido no solo de cómo han evolucionado los sistemas estructurales, sino también de cómo han influido y continúan influyendo en el diseño arquitectónico. La arquitectura incorpora una serie de cualidades estéticas inefables que surgen de la conjunción de espacio, forma y estructura. En su función de proporcionar soporte a otras partes del edificio y a las actividades que en él se desarrollan, un sistema estructural hace posible la forma de un edificio y sus espacios, de un modo similar a como nuestro esqueleto da forma a nuestro cuerpo y soporta nuestros órganos y tejidos. Cuando hablamos de estructuras arquitectónicas, nos referimos a aquellas que combinan forma y espacio de una forma coherente.

En consecuencia, diseñar una estructura implica algo más que el dimensionado correcto de los elementos o componentes o el diseño de las uniones estructurales. Tampoco se trata simplemente de resolver y equilibrar un sistema de fuerzas, sino de tomar en consideración que la configuración general y la escala de los elementos y las uniones estructurales incorporan una idea de proyecto, refuerzan la forma arquitectónica y la composición espacial de la propuesta y hacen posible su construcción. Todo ello requiere asumir que la estructura es un sistema de partes interconectadas e interrelacionadas, comprender los tipos genéricos de sistemas estructurales y ser capaces de valorar las posibilidades que ofrecen ciertos tipos de elementos y uniones estructurales.

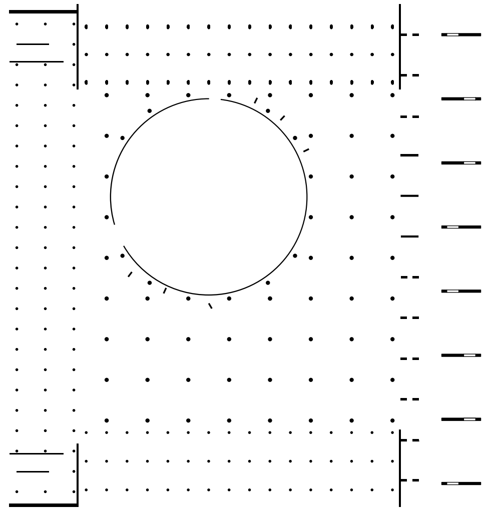

Sección

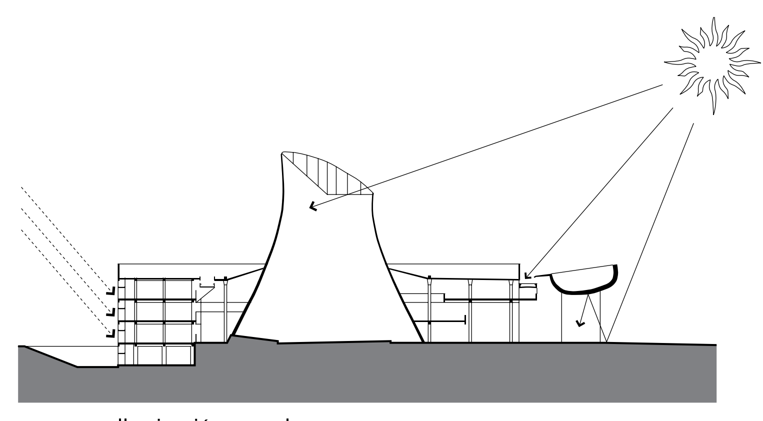
Planta baja

Le Corbusier, Parlamento de Chandigarh, India, 1951-1963

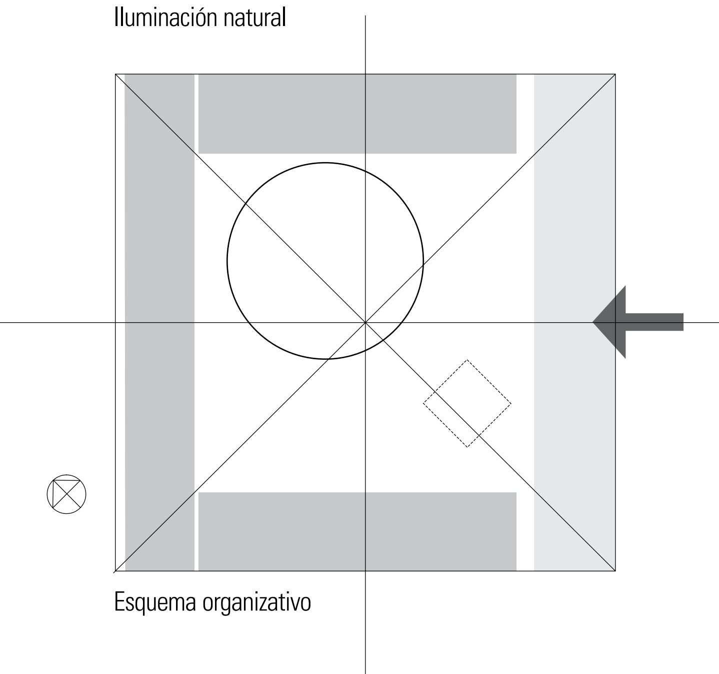


Planta de situación


Planta de estructuras



Iluminación natural

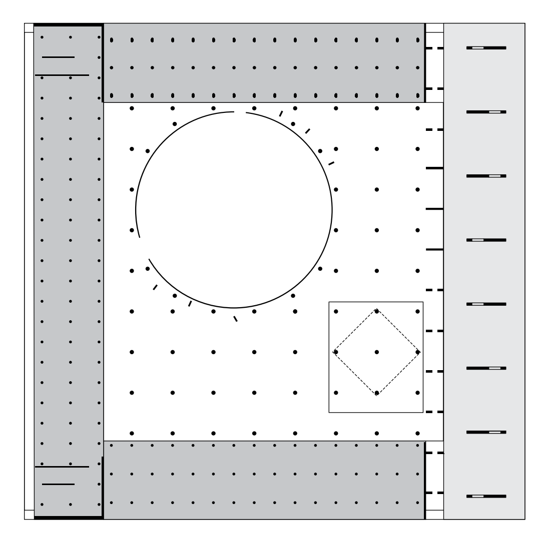


Esquema organizativo

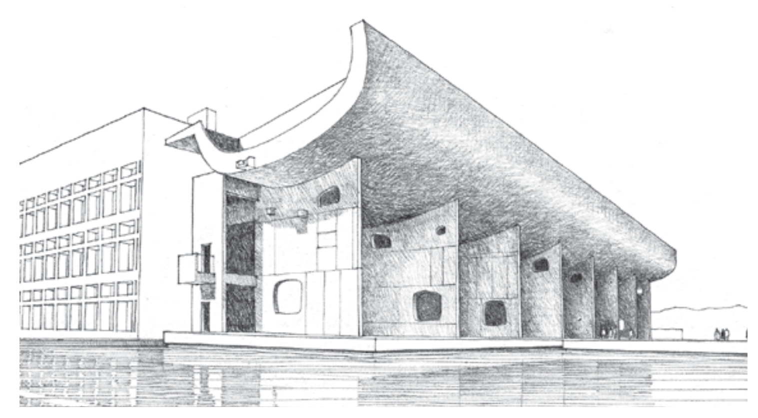
Para comprender el impacto de los sistemas estructurales en el diseño arquitectónico, deberíamos tomar conciencia de cómo se relacionan los órdenes conceptuales, sensoriales y contextuales de la arquitectura.

- Composición formal y espacial.
- Definición, escala y proporción de formas y espacios.
- Cualidades de la forma, el espacio, la luz, el color o la textura.
- Ordenación de las actividades humanas en función de su escala y dimensión.
- Zonificación funcional de los espacios según su propósito y función.
- Acceso a los recorridos horizontales y verticales dentro del edificio.
- Edificios como parte integral del entorno natural y construido.
- Características sensoriales y culturales del lugar.

Las secciones restantes de este capítulo esbozan los aspectos principales de los sistemas estructurales que apoyan, refuerzan y, en última instancia, dan forma a una idea de proyecto.



Estructura como apoyo del esquema organizativo



Estructura como apoyo de la idea formal

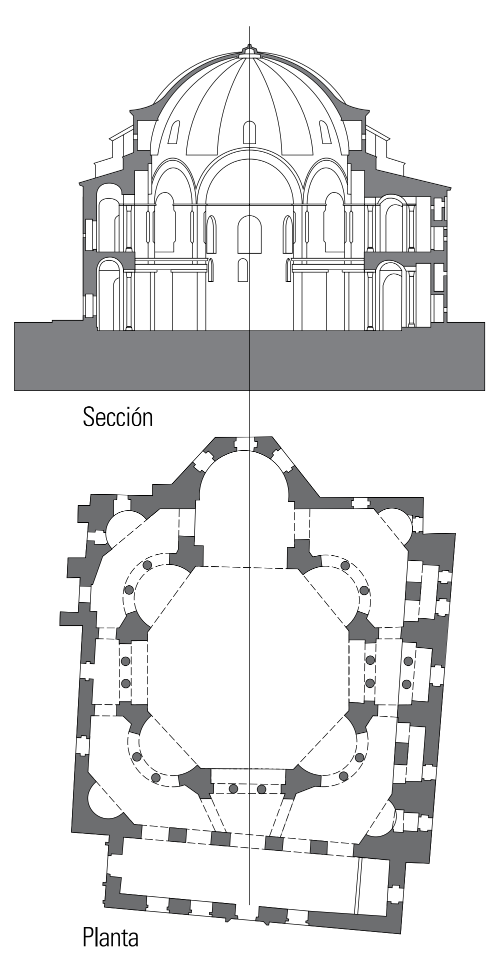
Intención formal
Existen tres vías fundamentales por las cuales el sistema estructural puede relacionarse con la forma de un proyecto:

- Exponer el sistema estructural
- Ocultar la estructura
- Enfatizar la estructura

Exponer la estructura
Históricamente, los sistemas de muros de carga de piedra y albañilería dominaron la arquitectura hasta el advenimiento de la construcción de hierro y acero a finales del siglo XVIII. Estos sistemas estructurales también funcionaban como cerramientos y, por tanto, expresaban la forma de la arquitectura, normalmente de un modo honesto y directo.

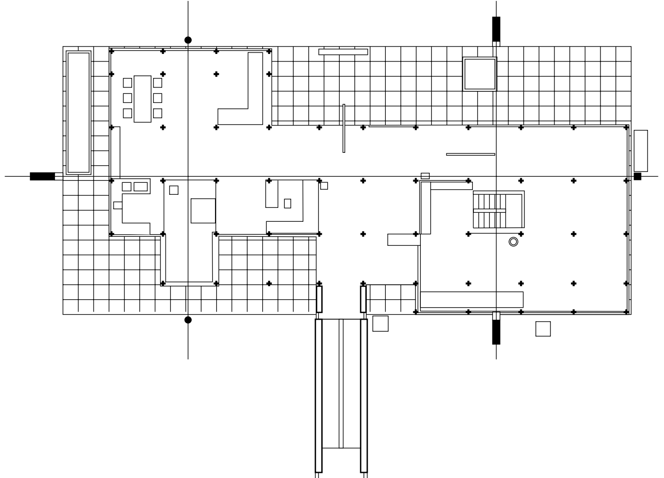
Con independencia de las modificaciones formales que fueron introduciéndose, solían ser el resultado de moldear o tallar el material estructural como medios para crear elementos adicionales, vacíos por sustracción o relieves dentro del volumen de la estructura.

Incluso en la Edad Moderna existen ejemplos de edificios que muestran sus sistemas estructurales —ya sean de madera, acero u hormigón— y los utilizan como elementos primarios de la forma arquitectónica.

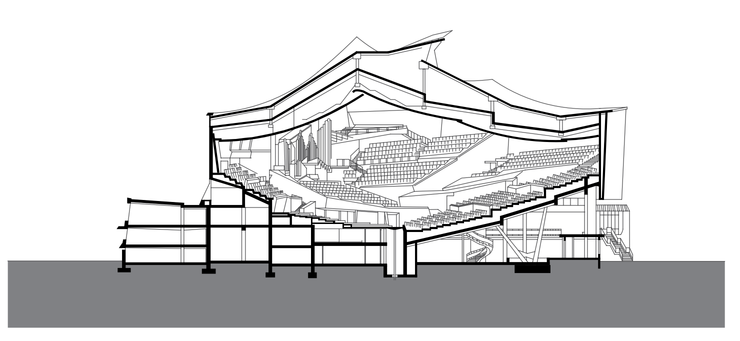


Iglesia de san Sergio y san Baco, Estambul, Turquía, 527-536 d. C.
Los otomanos convirtieron esta iglesia ortodoxa en una mezquita. Se cree que su cúpula central sirvió de modelo para Santa Sofía.

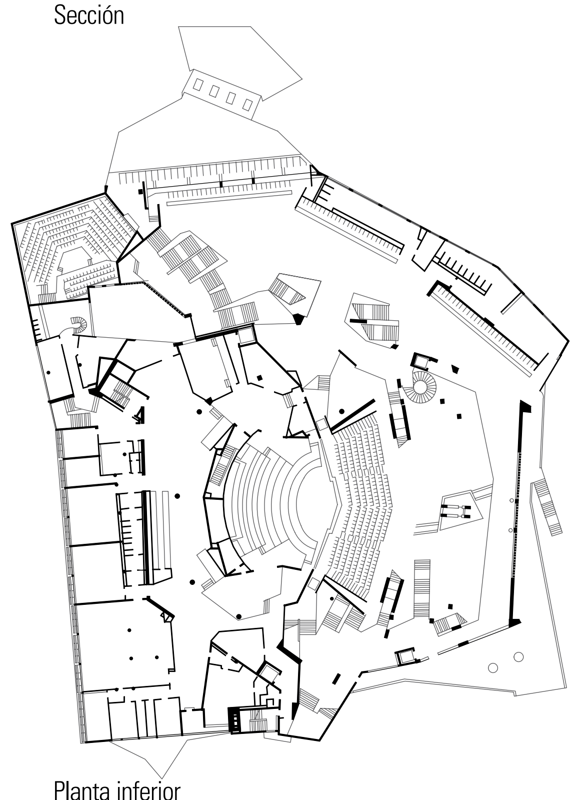




Le Corbusier, pabellón Heidi Weber, Zúrich, Suiza, 1965.
Un parasol de acero se apoya sobre un entramado modular con lados formados por paneles de vidrio y acero.



Sección



Planta inferior

Ocultar la estructura

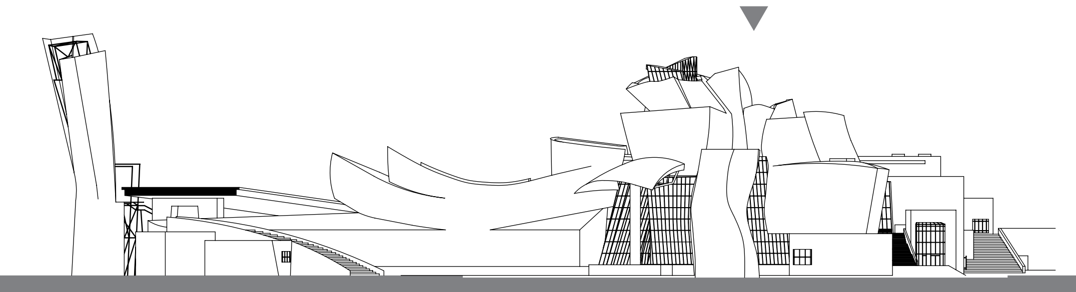
En esta estrategia, el sistema estructural queda oculto por el revestimiento exterior y la cubierta del edificio. Algunas de las razones para ocultar la estructura son de orden práctico, como cuando los elementos estructurales deben contar con un revestimiento para protegerlos del fuego; o contextuales, como cuando la forma exterior que se busca no se corresponde con los requisitos del espacio interior. En este último caso, la estructura puede organizar los espacios interiores, mientras que la forma del cerramiento exterior responde a los condicionantes o restricciones del emplazamiento.

Puede que el deseo del proyectista sea la libertad de expresión de la envolvente sin tomar en consideración cómo el sistema estructural puede ayudar o dificultar las decisiones formales; pero el sistema estructural también puede quedar oculto por negligencia, antes que intencionadamente. En cualquiera de los casos, surgen preguntas legítimas sobre si los resultados son intencionados o accidentales, voluntarios o, por decirlo así, descuidados.

◀ Hans Scharoun, Filarmónica de Berlín, Alemania, 1960-1963. Ejemplo de arquitectura expresionista, esta sala de conciertos tiene una estructura asimétrica, con una cubierta de hormigón en forma de carpa y el escenario en mitad de las gradas. La apariencia exterior está subordinada a los requisitos funcionales y acústicos de la sala de conciertos.

Frank O. Gehry, Museo Guggenheim, Bilbao, España, 1991-1997. Novedoso cuando se inauguró, este museo de arte contemporáneo es conocido por sus formas esculturales revestidas de chapas de titanio. Aunque difícil de entender en términos de la arquitectura tradicional, la definición constructiva de las formas aparentemente aleatorias fue posible gracias a la utilización del *software* CATIA, que incluye programas de diseño, ingeniería y fabricación asistidos por ordenador (CAD/CAM/CAE).

▼

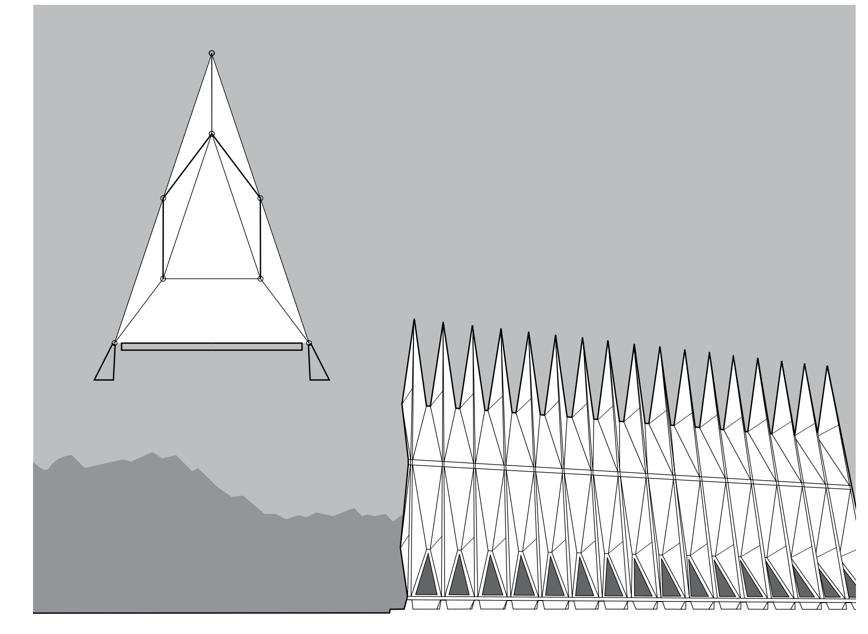


Enfatizar la estructura

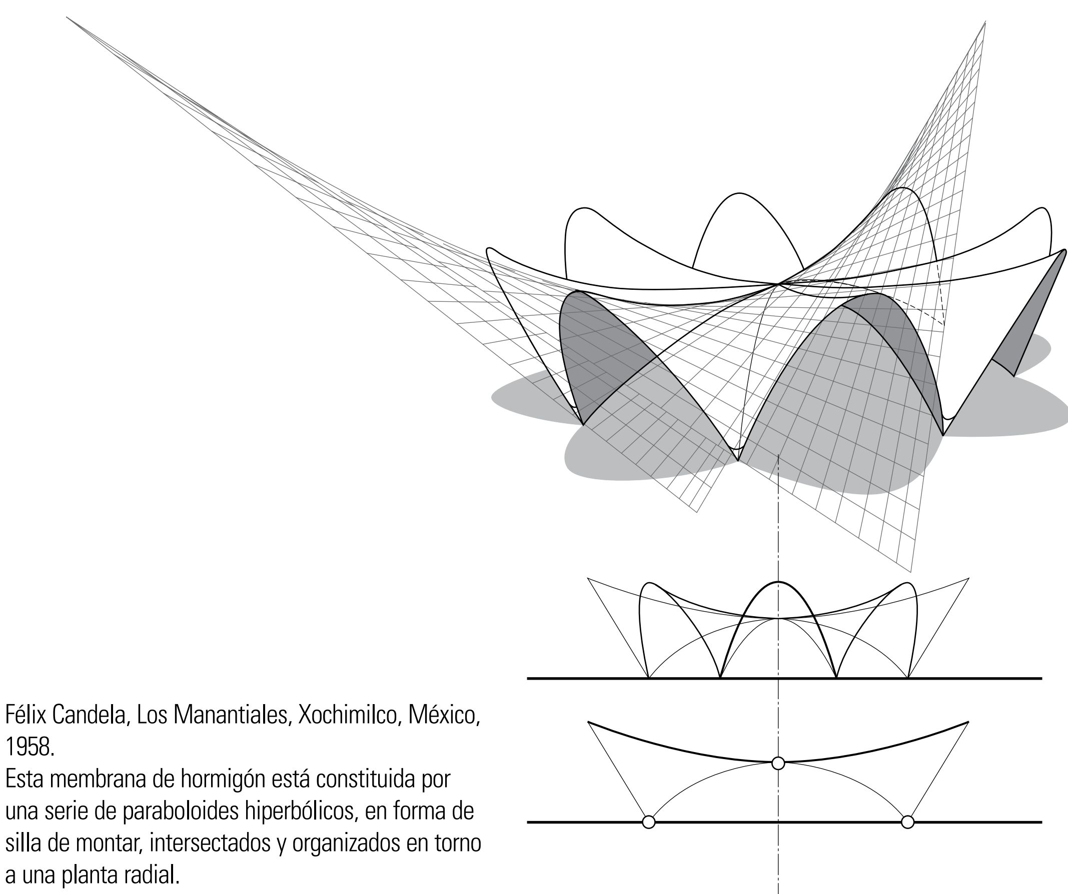
Más que estar simplemente expuesto, es posible sacar partido de un sistema estructural como una característica del diseño, enfatizando la forma y la materialidad de la estructura. La naturaleza a menudo exuberante de estructuras basadas en láminas o membranas, las convierte en candidatas perfectas para esta categoría.

También se encuentran aquellas estructuras que destacan por la contundencia con la cual expresan el modo como transmiten las cargas que actúan sobre ellas. Por su imagen impactante, este tipo de estructuras a menudo se convierten en iconos, como la torre Eiffel o la ópera de Sídney.

Para decidir si enfatizar o no la estructura de un edificio, debemos diferenciar cuidadosamente la expresión estructural de otras formas expresivas que, en realidad, no tienen naturaleza estructural, sino tan solo la apariencia.

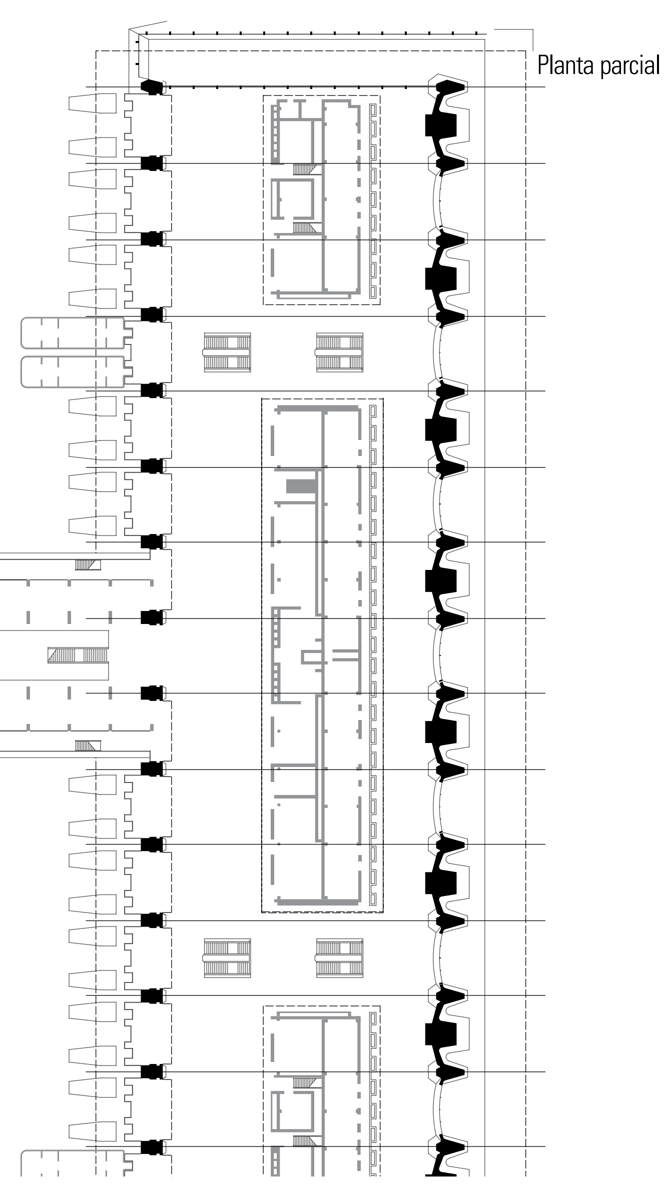


Walter Netsch/Skidmore, Owings & Merrill (SOM), capilla de la Academia del Aire, Colorado Springs (Colorado), Estados Unidos, 1956-1962.
Esta estructura consta de cien tetraedros idénticos, y es estable gracias a la triangulación de unidades estructurales individuales, así como a su sección triangular.

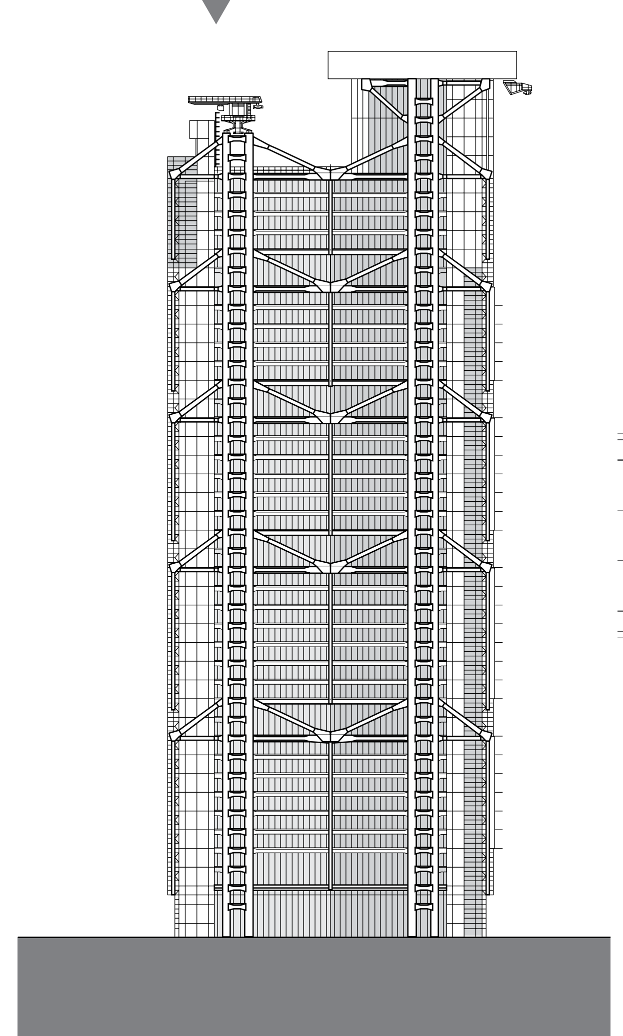


Félix Candela, Los Manantiales, Xochimilco, México, 1958.
Esta membrana de hormigón está constituida por una serie de paraboloides hiperbólicos, en forma de silla de montar, intersectados y organizados en torno a una planta radial.

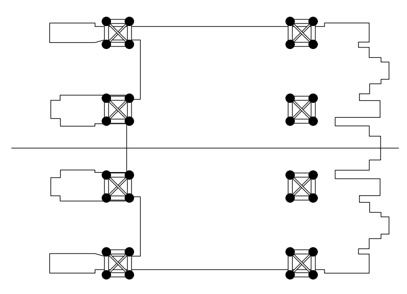
Eero Saarinen, terminal del aeropuerto de Dulles, Chantilly (Virginia), Estados Unidos, 1958-1962.
Las catenarias, suspendidas de dos largas hileras de pilares en forma de ménsulas inclinadas, sostienen una cubierta de hormigón curva que evoca el vuelo de los aviones.



Norman Foster, Banco de Hong Kong y Shanghái, Hong Kong, China, 1979-1985.
Ocho grupos de cuatro pilares de acero revestido de aluminio se elevan desde los cimientos y soportan cinco niveles de un entramado suspendido que sostiene los forjados de las plantas.



Alzado y planta de estructuras

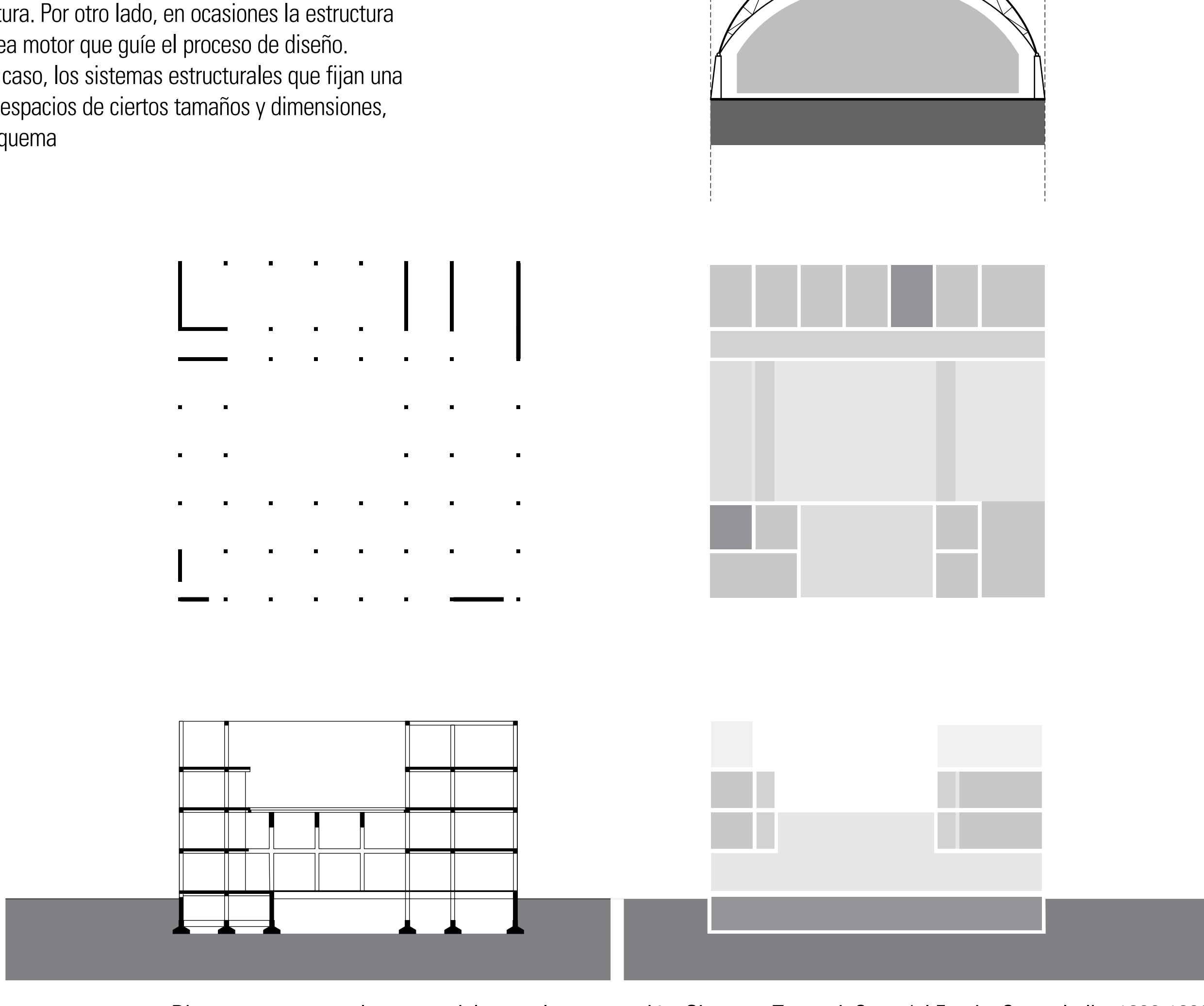


Composición espacial
La forma de un sistema estructural y la distribución de sus elementos verticales y horizontales pueden relacionarse con la organización y la composición de un proyecto de dos maneras fundamentales. La primera consiste en hacer corresponder las formas del sistema estructural y de la composición espacial. La segunda opción supone plantear una relación menos rígida, de modo que la forma y el esquema estructural permitan una mayor libertad y flexibilidad a la distribución espacial.

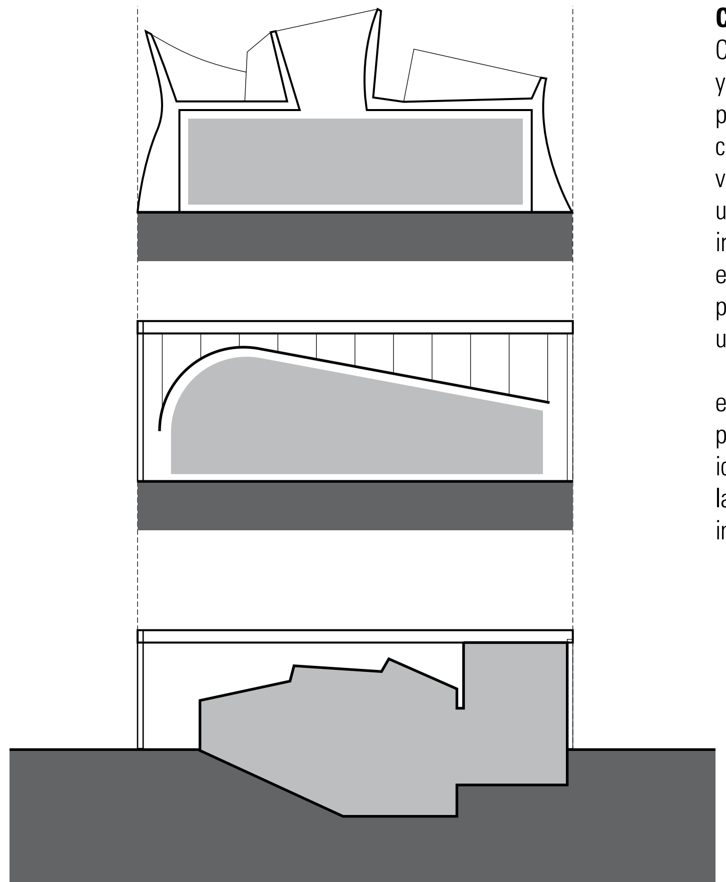
Correspondencia
Donde existe una correspondencia entre estructura y composición espacial puede ocurrir que la distribución de pilares y vigas dicte la disposición de los espacios dentro del edificio, o que la distribución espacial sugiera un determinado tipo estructural. ¿Qué viene primero en el proceso de diseño?

En casos ideales, consideramos conjuntamente espacio y estructura como codeterminantes de la forma arquitectónica. Sin embargo, la composición de espacios según las necesidades y deseos a menudo es anterior a la reflexión sobre la estructura. Por otro lado, en ocasiones la estructura puede ser la idea motor que guíe el proceso de diseño.

En cualquier caso, los sistemas estructurales que fijan una distribución de espacios de ciertos tamaños y dimensiones, o incluso un esquema



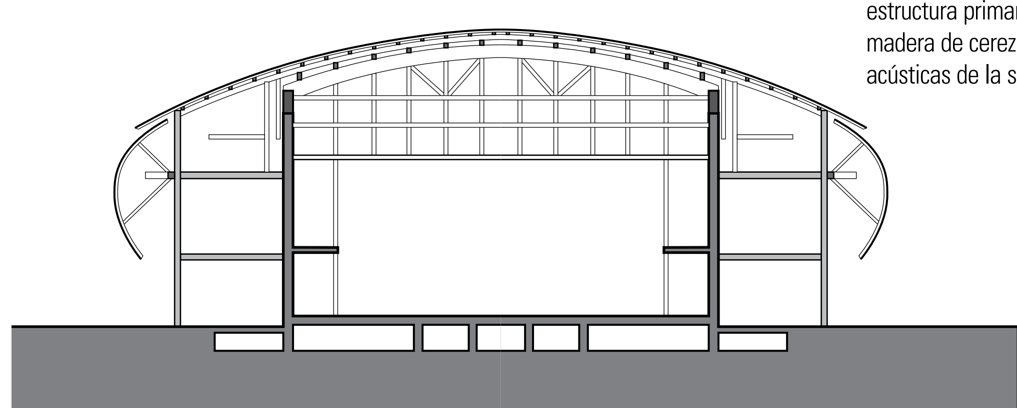
Diagramas estructurales y espaciales en planta y sección. Giuseppe Terragni, Casa del Fascio, Como, Italia, 1932-1936.



Contraste

Cuando no existe correspondencia entre forma estructural y composición espacial, alguna de ellas puede asumir el protagonismo. La estructura puede ser lo bastante grande como para albergar una serie de espacios dentro de su volumen, o la composición espacial puede dominar sobre una estructura que se oculta. Un sistema estructural irregular o asimétrico puede envolver una composición espacial más regular, mientras que una retícula estructural puede proporcionar una modulación sobre la cual disponer una composición más libre.

Puede resultar deseable distinguir entre espacio y estructura para proporcionar flexibilidad a la distribución, permitir el crecimiento y la expansión, hacer visible la identidad de los distintos sistemas del edificio o expresar las diferencias entre las necesidades, deseos y relaciones interiores y exteriores.

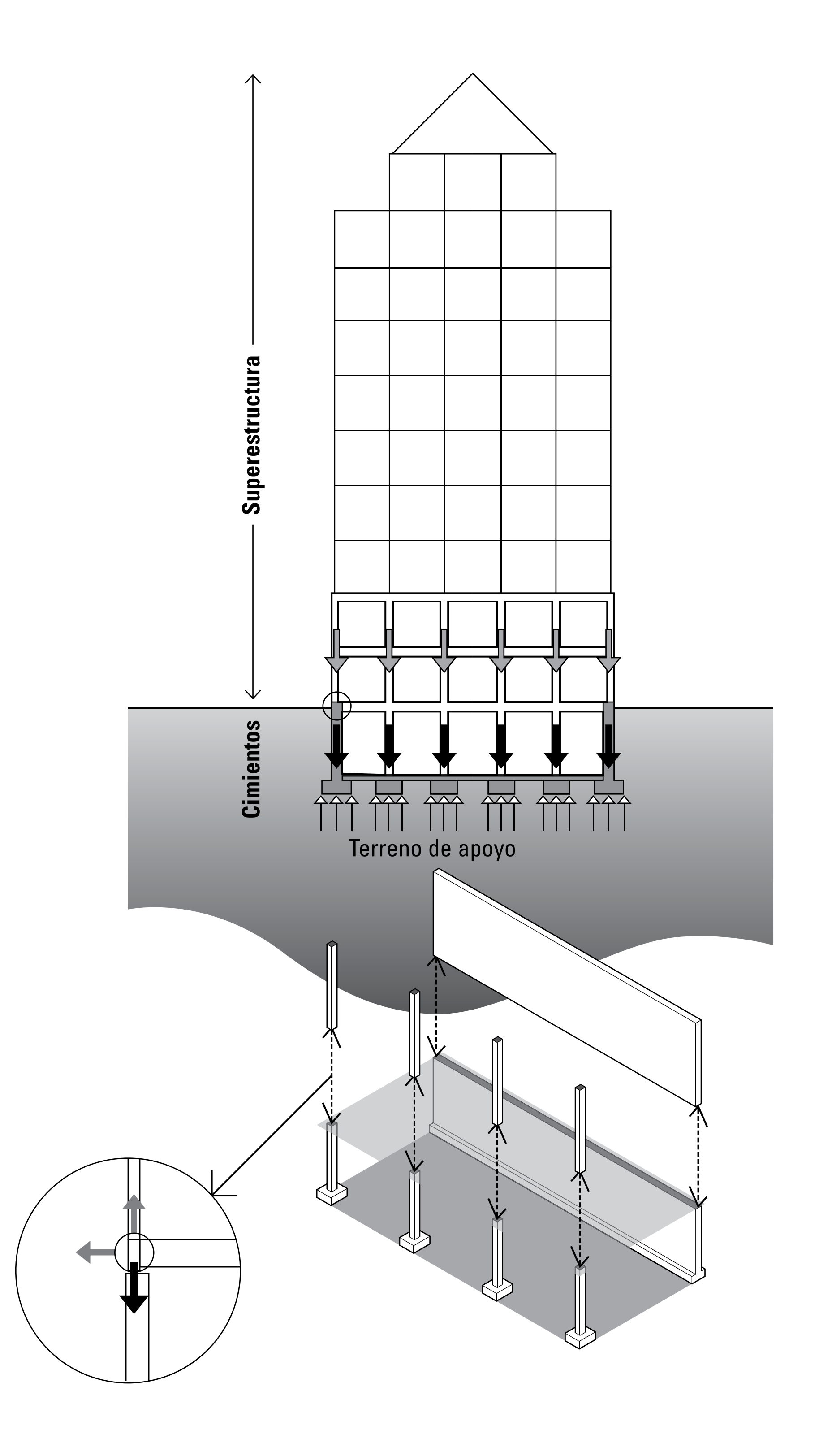


Renzo Piano, sala Sinopoli, auditorio Parco della Musica, Roma, Italia, 1994-2002.
Una estructura secundaria soporta una cubierta revestida de plomo que amortigua el ruido exterior, mientras que la estructura primaria soporta las superficies interiores de madera de cerezo, ajustables para adaptar las propiedades acústicas de la sala.

Un sistema puede definirse como la unión de partes interrelacionadas o interdependientes que forman un conjunto más complejo y unificado al servicio de un propósito común. Un edificio puede ser entendido como la conjunción física de una serie de sistemas y subsistemas que deben estar necesariamente relacionados, coordinados e integrados entre sí, y con la forma tridimensional y la organización espacial del edificio en su conjunto.

Concretamente, el sistema estructural de un edificio consiste en la unión estable de una serie de elementos estructurales, diseñados y construidos para soportar y transmitir las cargas aplicadas al terreno de una forma segura, sin exceder las tensiones admisibles de cada uno de los componentes. Cada uno de los elementos constituyentes de la estructura tiene un carácter unitario y muestra un comportamiento único bajo una determinada carga. Pero antes de que los distintos elementos puedan ser aislados para su estudio y cálculo, es importante que el proyectista comprenda cómo se acomoda el sistema estructural y soporta de forma global las formas, los espacios y las relaciones derivadas del programa o de la integración en el lugar de un proyecto arquitectónico.

Con independencia del tamaño y la escala de un edificio, este comprende sistemas físicos de estructura y cerramiento que definen y organizan las formas y los espacios. Estos elementos pueden clasificarse también en subestructura y superestructura.



Cimientos

Los cimientos son la parte inferior de un edificio, y están construidos parcial o totalmente bajo la superficie del terreno. Su función primaria consiste en soportar y anclar la superestructura superior y transmitir las cargas al terreno de una forma segura. Por su función como elemento crítico en la distribución y acomodo de las cargas del edificio, los cimientos, aunque suelen estar ocultos, deben diseñarse tanto para acomodar la forma y la distribución de la estructura que se sitúa por encima como para responder a las condiciones variables del suelo, la roca o el agua que están por debajo.

Las cargas principales sobre una cimentación son la suma del peso propio y las sobrecargas verticales sobre la estructura. Además, los cimientos deben anclar la superestructura para evitar el deslizamiento, el vuelco o la elevación debidos a la acción del viento, soportar los movimientos bruscos del terreno en caso de terremoto, y resistir la presión que ejercen el terreno y las aguas subterráneas sobre los muros de contención. En algunos casos, los cimientos también deben soportar los empujes laterales de arcos o estructuras tensadas.

Un factor importante a la hora de seleccionar el tipo de cimientos, y en consecuencia del diseño estructural en su conjunto, es el lugar y el entorno donde se va a levantar un edificio.

- Relación con la superestructura: el tipo y la distribución de los elementos de la cimentación tienen una gran influencia en la distribución de los soportes de la superestructura. En la medida de lo posible, debe mantenerse la continuidad vertical en la transmisión de las cargas, para optimizar la eficiencia estructural.
- Tipo de suelo: la integridad de la estructura de un edificio depende en última instancia de la estabilidad y la resistencia a la presión del suelo que hay bajo los cimientos. La capacidad de carga del suelo puede limitar el tamaño del edificio o requerir cimentaciones profundas.
- Relación con la topografía: los aspectos topográficos del emplazamiento de un edificio tienen implicaciones y consecuencias tanto ecológicas como estructurales, y requieren que cualquier construcción muestre sensibilidad hacia las formas naturales de drenaje, los riesgos de inundación, erosión o deslizamiento, así como prever la protección de los ecosistemas presentes.

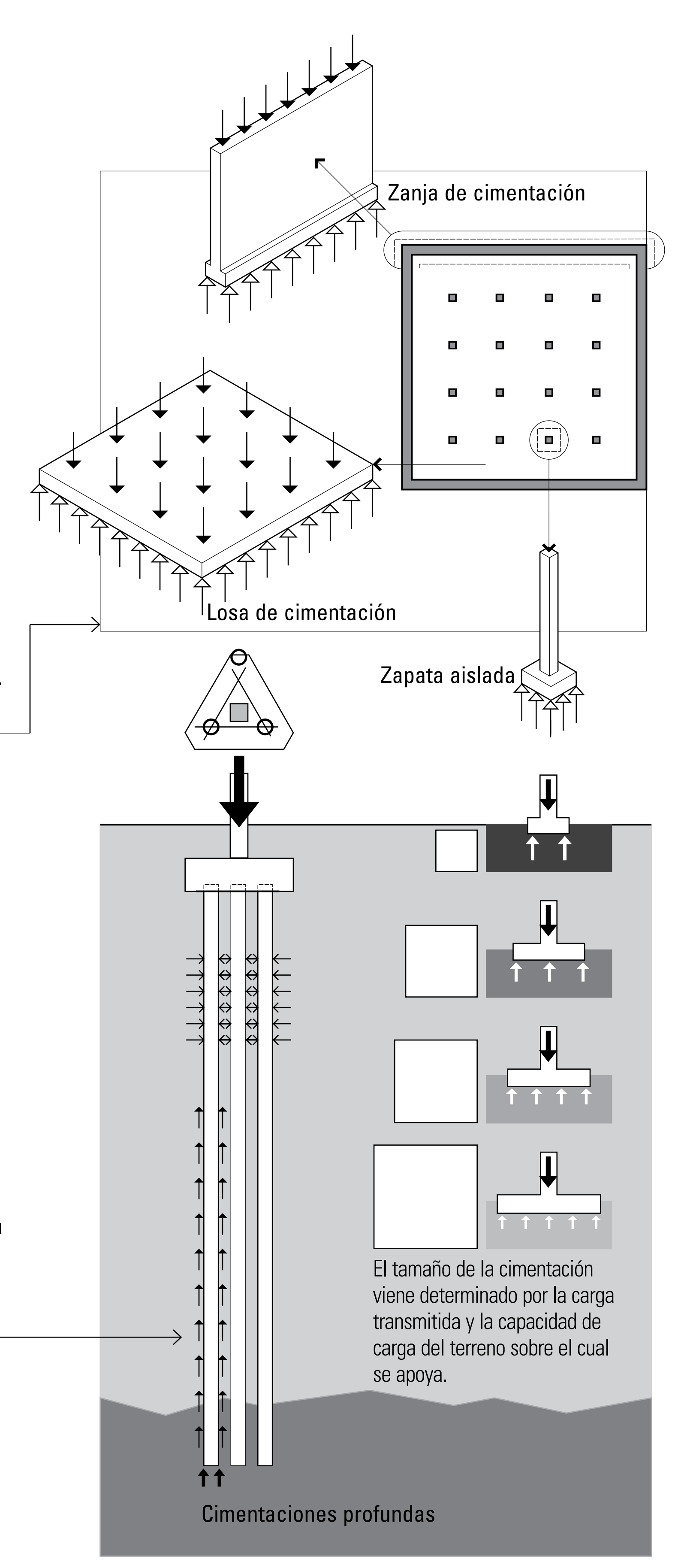
Cimentaciones superficiales

Las cimentaciones superficiales se emplean cuando a poca profundidad hay un suelo estable y con suficiente capacidad de carga. Se sitúan directamente debajo de la parte inferior de los cimientos, y transfieren las cargas del edificio directamente al suelo mediante esfuerzos verticales de compresión. Las cimentaciones superficiales pueden asumir cualquiera de las siguientes formas geométricas:

- Puntuales: zapatas aisladas
- Lineales: muros y zanjas de cimentación
- Planas: losas de cimentación (losas gruesas de hormigón fuertemente armado que sirven como soporte único y monolítico de una serie de pilares o incluso de todo un edificio). Se utilizan cuando la capacidad de carga del terreno es baja en relación con las cargas del edificio, y las zapatas aisladas tendrían que ser tan grandes que es más económico fusionarlas en una única losa. Estas losas de cimentación pueden arriostrarse mediante una malla de nervaduras, vigas o muros.

Cimentaciones profundas

Las cimentaciones profundas consisten en pilotes que atraviesan el terreno no resistente y transmiten las cargas hasta un estrato de roca o gravas y arenas densas con la suficiente resistencia.



Superestructura
La superestructura, o extensión vertical de un edificio por encima de la cimentación, consta de un cerramiento y una estructura interior que definen la forma de un edificio y su distribución y composición espacial.

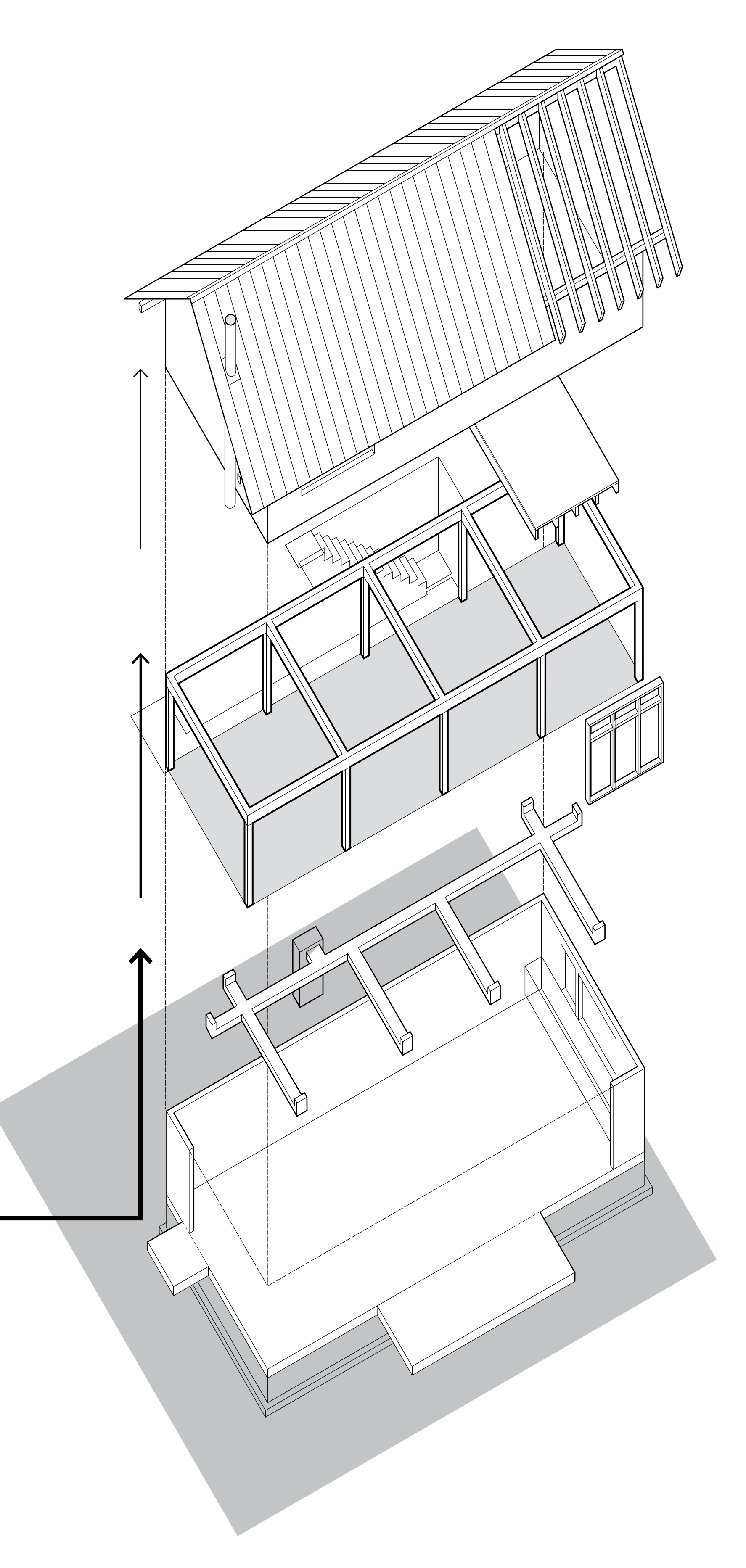
Cerramiento
El cerramiento o envoltura de un edificio, incluyendo la cubierta, los muros exteriores, las ventanas y las puertas, proporciona protección y refugio a los espacios interiores del edificio.

- La cubierta y los muros exteriores protegen los espacios interiores de las inclemencias climáticas y controlan la humedad, la temperatura y el flujo de aire a través de las distintas capas constructivas.
- Los muros exteriores y la cubierta también amortiguan el ruido y proporcionan seguridad y privacidad a los ocupantes del edificio.
- Las puertas proporcionan acceso físico.
- Las ventanas proporcionan luz, aire y vistas.

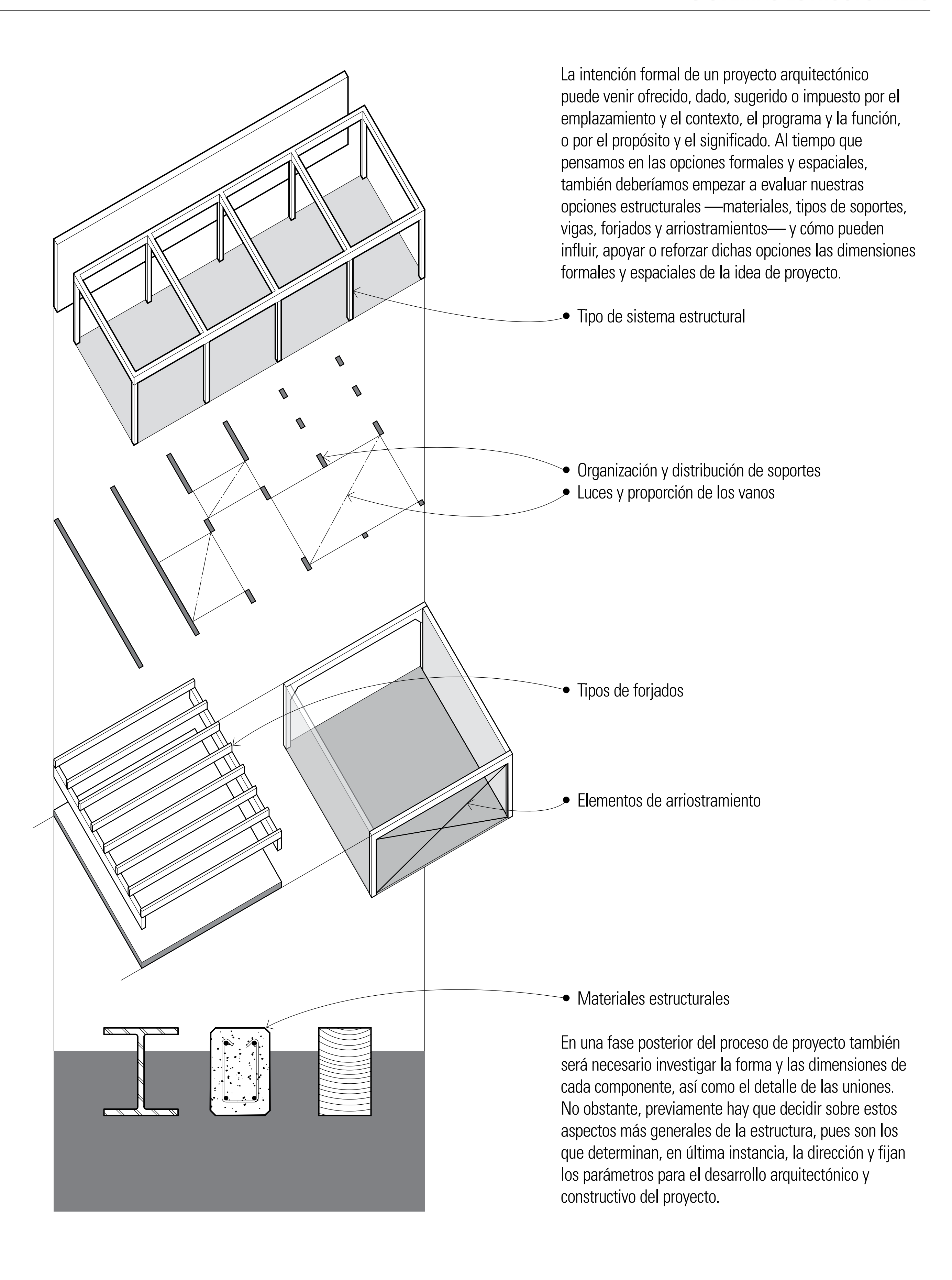
Estructura
Para soportar el cerramiento de un edificio, así como de los forjados y particiones interiores, se requiere un sistema estructural que transfiera las cargas aplicadas a los cimientos.

- Pilares, vigas y muros de carga soportan los forjados y la cubierta.
- Los forjados son planos horizontales que forman el suelo de los espacios interiores y soportan las actividades y el mobiliario del interior.
- Los muros y tabiques interiores subdividen el interior de un edificio en unidades espaciales.
- Los elementos de arriostramiento se encargan de proporcionar estabilidad lateral frente a cargas horizontales.

En el proceso de construcción, la superestructura se eleva a partir de los cimientos, siguiendo las mismas trayectorias por las cuales la primera transmite las cargas hasta los segundos.



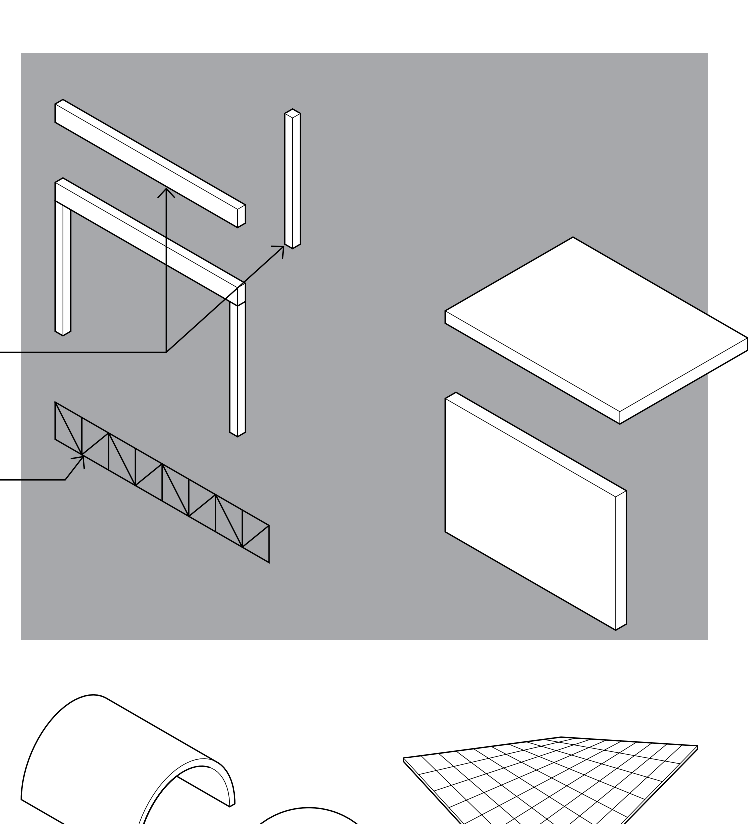
La intención formal de un proyecto arquitectónico puede venir ofrecido, dado, sugerido o impuesto por el emplazamiento y el contexto, el programa y la función, o por el propósito y el significado. Al tiempo que pensamos en las opciones formales y espaciales, también deberíamos empezar a evaluar nuestras opciones estructurales —materiales, tipos de soportes, vigas, forjados y arriostramientos— y cómo pueden influir, apoyar o reforzar dichas opciones las dimensiones formales y espaciales de la idea de proyecto.



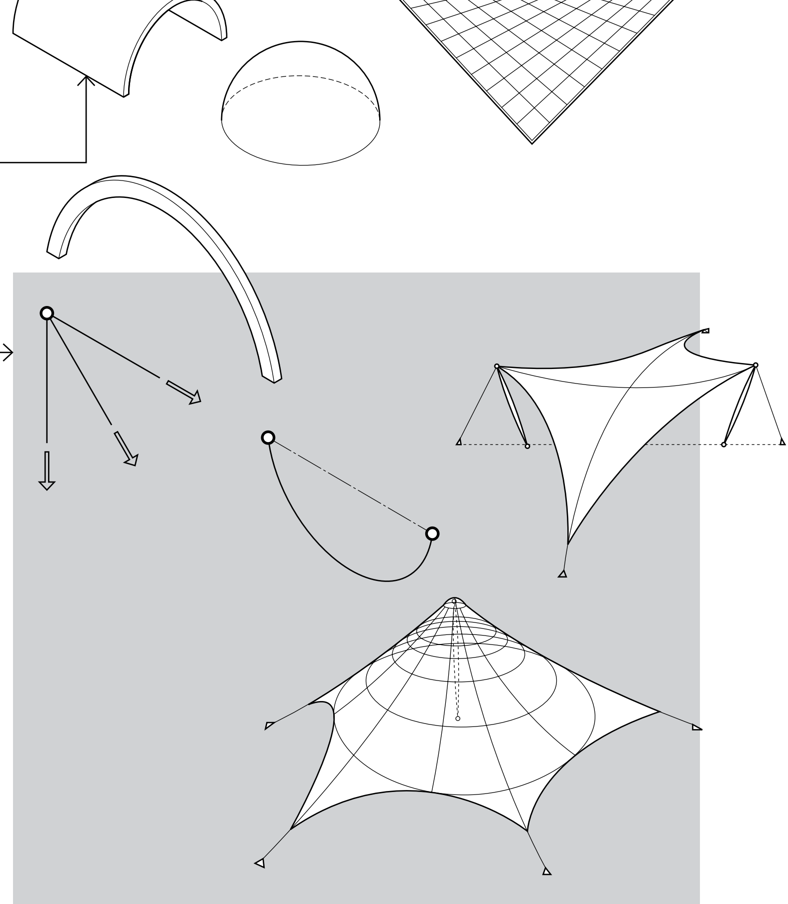
En una fase posterior del proceso de proyecto también será necesario investigar la forma y las dimensiones de cada componente, así como el detalle de las uniones. No obstante, previamente hay que decidir sobre estos aspectos más generales de la estructura, pues son los que determinan, en última instancia, la dirección y fijan los parámetros para el desarrollo arquitectónico y constructivo del proyecto.

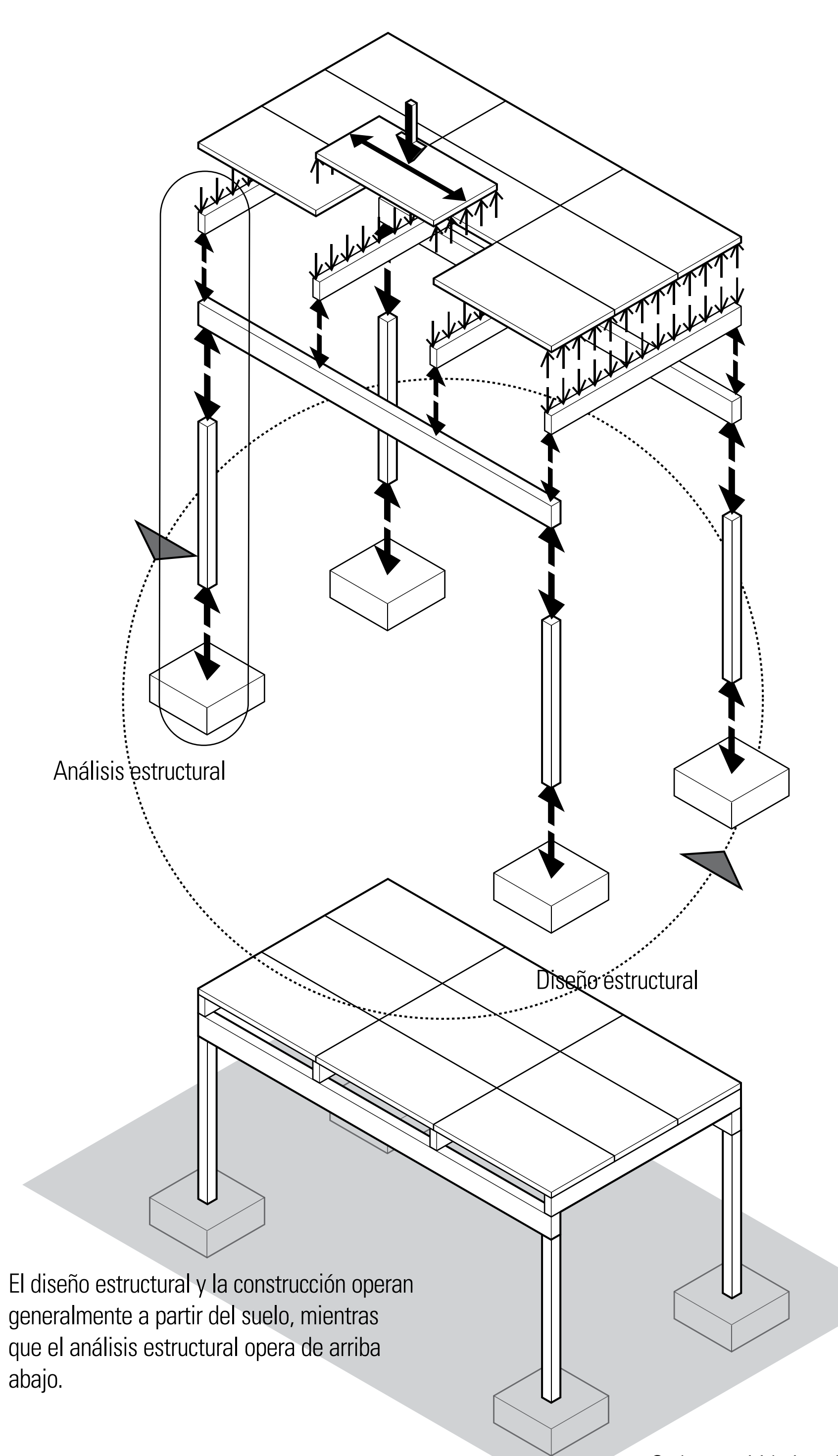
Tipos de sistemas estructurales
Partiendo de una actitud determinada respecto al papel expresivo del sistema estructural y de la composición espacial deseada, puede elegirse un sistema estructural adecuado siempre que se comprendan los atributos formales de los distintos sistemas frente a las cargas aplicadas y su transmisión a las cimentaciones.

- Las estructuras a flexión redirigen las cargas exteriores recurriendo principalmente a la masa y la continuidad de sus componentes, como vigas y pilares.
- Las estructuras de vector activo redirigen las cargas exteriores principalmente a través de la tracción y la compresión de sus componentes, como es el caso de las cerchas.
- Las proporciones de los elementos estructurales, como los muros de carga, las losas de forjados y cubiertas, bóvedas o cúpulas dan pistas visuales sobre su papel en un sistema estructural y la naturaleza de sus materiales. Un muro de fábrica, resistente a compresión pero relativamente débil a flexión, será más grueso que un muro de hormigón armado que realice la misma función. Un pilar de acero será más delgado que un poste de madera que deba soportar la misma carga. Una losa de 10 cm de hormigón armado cubrirá luces mayores que un forjado de madera del mismo grosor.
- Las estructuras de superficie activa redirigen las cargas exteriores principalmente a lo largo de una superficie, como puede ser una estructura de membrana.



- Las estructuras de forma activa redirigen las cargas exteriores principalmente a través de la forma de sus materiales, como es el caso de un arco o una catenaria.
- En la medida en la cual una estructura dependa menos del peso y la rigidez de un material y más de su geometría para lograr la estabilidad, como es el caso de las estructuras de membranas y de mallas espaciales, sus componentes podrán ser más y más delgados, hasta el punto de que pierdan su capacidad para definir la escala y la dimensión espacial.





El diseño estructural y la construcción operan generalmente a partir del suelo, mientras que el análisis estructural opera de arriba abajo.

Se han omitido los elementos de arriostramiento en aras de la claridad. Véase el capítulo quinto sobre sistemas y estrategias de arriostramiento.

Análisis y diseño estructural

Antes de internarnos en una discusión sobre el diseño estructural, puede ser útil dejar clara la distinción entre diseño y análisis estructural. El análisis estructural es el procedimiento por el cual se determina la capacidad de una estructura, o de sus componentes, ya sea existente o en proyecto, para transmitir de forma segura una serie de cargas sin que los materiales sufran o se deformen en exceso, una vez conocidas la disposición, la forma y las dimensiones de todos los componentes, los tipos de unión y soporte utilizados, y las resistencias tolerables para los materiales empleados. En otras palabras, el análisis estructural solo puede producirse una vez definidas una estructura y unas condiciones de carga concretas.

Por otro lado, el diseño estructural se refiere al proceso de organizar, interconectar, dimensionar y proporcionar los componentes de un sistema estructural cuya función consiste en transferir una serie dada de cargas sin exceder la resistencia de los materiales empelados. Al igual que otras facetas del proyecto, el diseño estructural debe operar en un entorno de incertidumbre, ambigüedad y aproximación. Supone la búsqueda de un sistema estructural que no solo asuma los requisitos impuestos por las cargas, sino que también dé respuesta al resto de aspectos arquitectónicos, urbanísticos y funcionales del proyecto.

El primer paso del proceso de diseño estructural puede tener su origen en la naturaleza del diseño arquitectónico, su emplazamiento y su contexto, o por la disponibilidad de ciertos materiales.

- La idea de proyecto puede obtener un tipo específico de configuración o distribución.
- El emplazamiento y el contexto pueden sugerir un determinado tipo de respuesta estructural.
- Los materiales de la estructura pueden venir impuestos por los requisitos de la normativa técnica, la facilidad de suministro, la disponibilidad de mano de obra o bien por los costes.

Una vez seleccionado el tipo de sistema estructural, su configuración o distribución, y los distintos materiales estructurales a emplear, puede procederse a dimensionar y dar forma a los componentes individuales y a detallar las uniones de los mismos.

Detalles de las uniones

El modo como se transfieren las cargas de un componente estructural al siguiente y el funcionamiento del sistema estructural en su conjunto depende en gran medida de los tipos de juntas y uniones utilizados. Los componentes de la estructura pueden estar unidos de tres maneras:

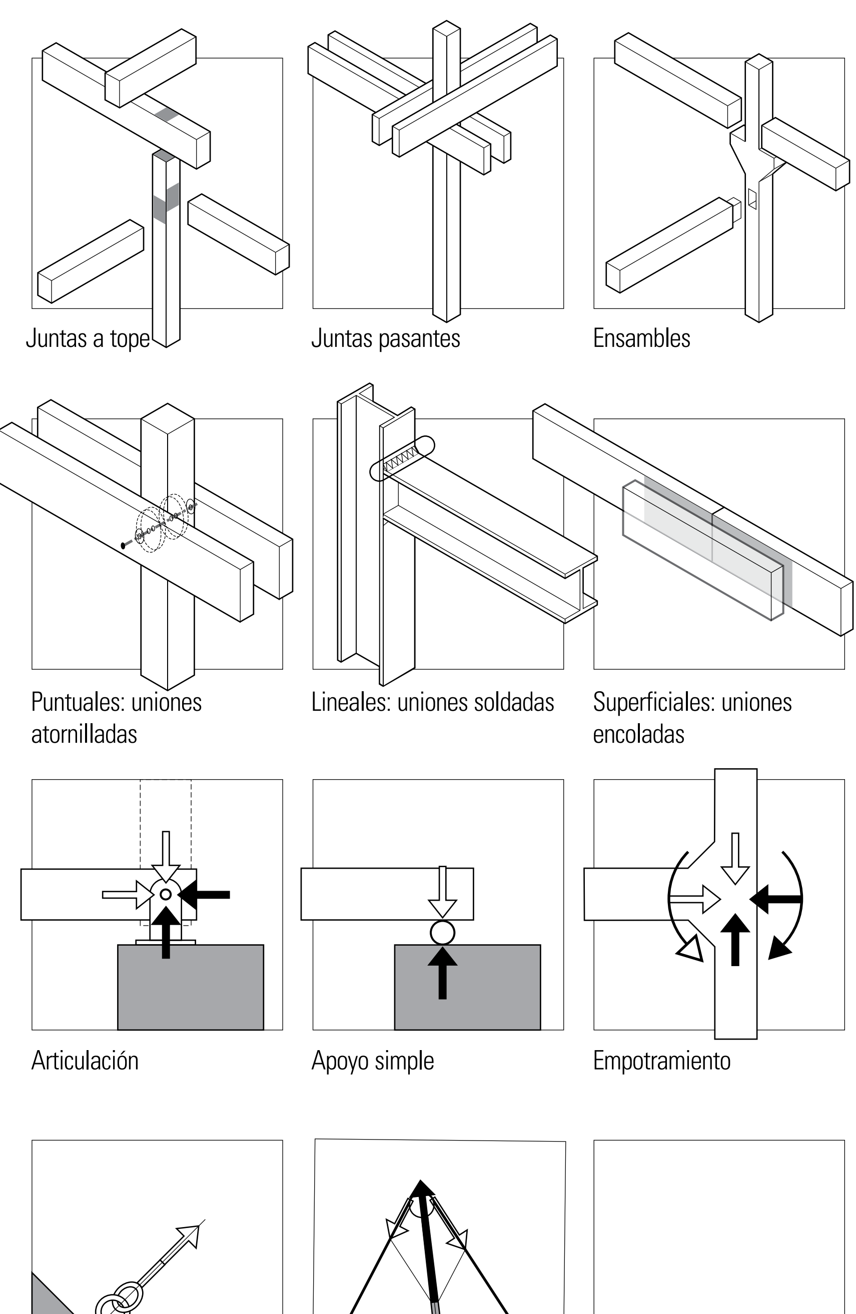
- Las juntas a tope permiten la continuidad de uno de los componentes y suelen precisar un tercer elemento de mediación para realizar la unión.
- Las juntas pasantes permiten que los componentes conectados mantengan su continuidad a través de la junta.
- Los componentes que hay que unir también pueden recibir la forma necesaria para ensamblarse y constituir una conexión estructural.

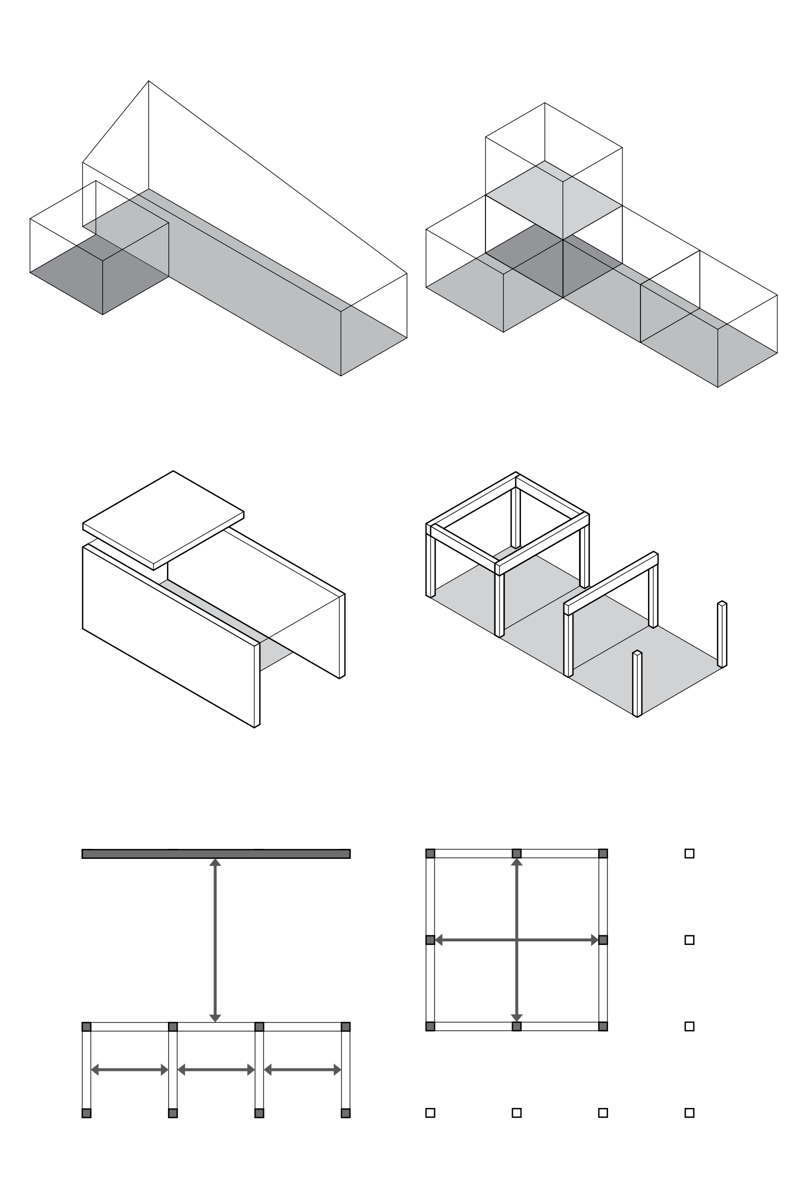
Las uniones estructurales también pueden clasificarse según su geometría:

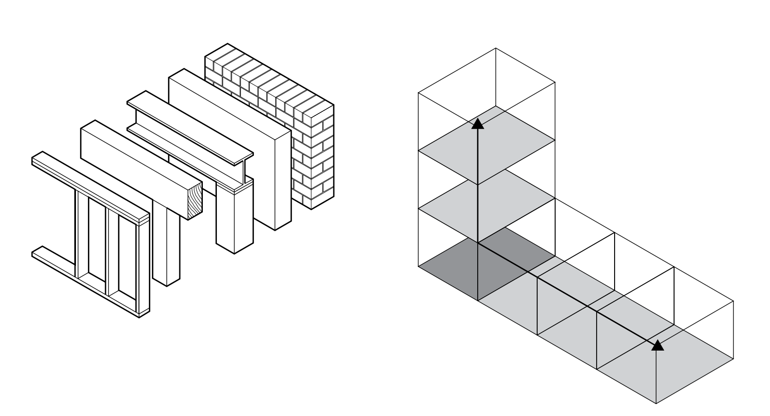
- Puntuales: uniones atornilladas
- Lineales: uniones soldadas
- Superficiales: uniones encoladas

Existen tres tipos fundamentales de conexiones estructurales.

- Articulaciones: permiten la rotación pero impiden el desplazamiento en cualquier dirección.
- Apoyos simples: permiten la rotación pero impiden el desplazamiento en perpendicular a su plano.
- Empotramientos o uniones rígidas: mantienen un determinado ángulo entre los componentes unidos, restringen la rotación y la traslación en cualquier dirección, y proporcionan momento y fuerza de reacción.
- Anclajes de cables: permiten rotación, pero solo resisten la traslación en la dirección del cable.







En el proceso de diseño, tendemos a pensar primero en el conjunto mayor antes de considerar las unidades elementales de la estructura que lo conforman. Por ello, a la hora de plantearnos una estrategia para desarrollar una estructura para un edificio, debemos tener en cuenta tanto la naturaleza de la composición arquitectónica como la naturaleza y la configuración de los elementos estructurales. Esto nos conduce a una serie de cuestiones fundamentales:

Diseño

- ¿Se trata de una forma global o de la composición de un conjunto de partes articuladas? Si es así, ¿están organizadas dichas partes bajo algún tipo de jerarquía?
- ¿Tienen los elementos arquitectónicos principales un carácter plano o lineal?

Programa

- ¿Se requiere una relación específica entre la escala y la proporción deseadas en los espacios demandados por el programa, las luces asumibles por el sistema estructural y la distancia entre pilares del esquema resultante?
- ¿Hay alguna razón espacial innegociable que recomiende forjados unidireccionales o bidireccionales?

Integración

- ¿Cómo deberían integrarse las instalaciones y otros sistemas del edificio con el sistema estructural?

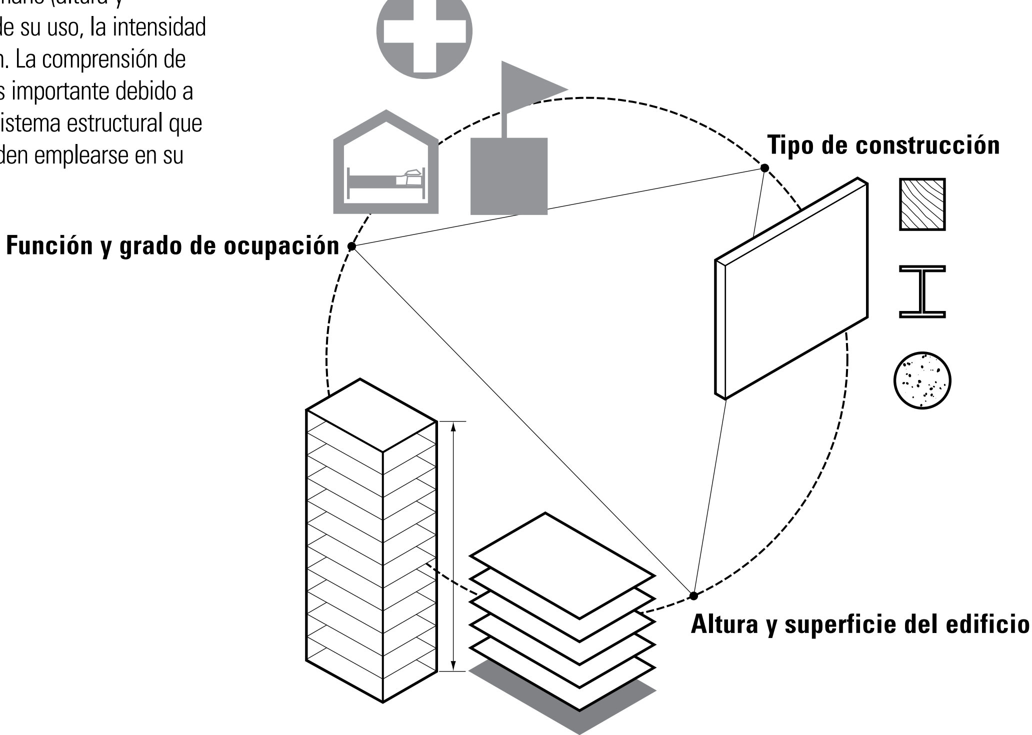
Requisitos normativos

- ¿Cuáles son los requisitos que impone la normativa para la función, la escala y el grado de ocupación previstos del edificio?
- ¿Qué tipo de construcción y de materiales estructurales se requieren?

Viabilidad económica

- Cómo podrían influir en la elección del sistema estructural la disponibilidad de materiales, los procesos de fabricación, las necesidades de transporte y de mano de obra o los plazos previstos de ejecución?
- ¿Existe la necesidad de prever una ampliación futura del edificio, ya sea en vertical o en horizontal?

Restricciones legales
Existen normativas que regulan el tamaño (altura y superficie) de un edificio en función de su uso, la intensidad de dicho uso y el tipo de construcción. La comprensión de la escala proyectada de un edificio es importante debido a que su tamaño influye en el tipo de sistema estructural que requiere y en los materiales que pueden emplearse en su construcción.

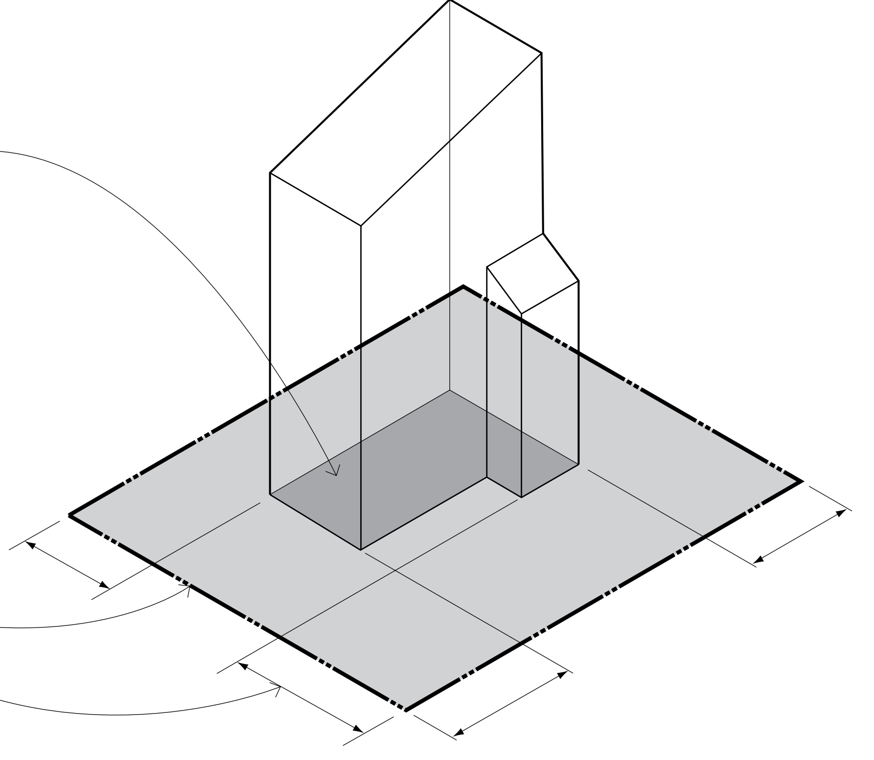


Ordenanzas urbanísticas
Las ordenanzas urbanísticas restringen el volumen construido (altura y superficie) y la forma de un edificio en función de su localización dentro del término municipal y su posición dentro de la parcela, generalmente especificando diversos aspectos de su tamaño:

- Ocupación máxima de la parcela: suele expresarse en porcentaje respecto de la superficie total de la misma.
- Anchura y profundidad máximas: pueden expresarse en porcentajes respecto de las dimensiones de la parcela.
- Las ordenanzas también pueden especificar la altura máxima del edificio en una determinada zona, con el fin de garantizar un grado adecuado de luz, aire y espacio, y para mejorar el paisaje urbano.

El tamaño y la forma de un edificio también pueden venir controlados indirectamente mediante la especificación de retranqueos mínimos de la estructura respecto de los linderos de la parcela, con el objeto de garantizar un grado mínimo de aire, luz, asoleo y privacidad.

- Linderos
- Retranqueos frontales, laterales y traseros



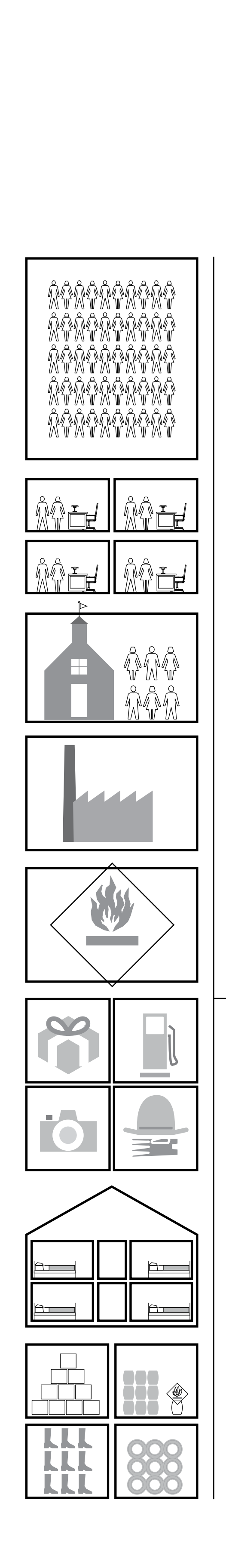
La altura del edificio puede expresarse mediante la altura total desde el nivel del suelo, o mediante el número de plantas.

Las normas técnicas de la edificación especifican grados de resistencia al fuego de los materiales y los sistemas constructivos requeridos en función de la localización, el uso y su intensidad, la altura y la superficie en planta del edificio.

Altura y superficie del edificio

Además de las ordenanzas urbanísticas, que pueden limitar el uso y el volumen (superficie, altura) de un edificio, las normas técnicas limitan la altura y la superficie máxima por planta en función del sistema constructivo y el tipo de uso del edificio, expresando la relación intrínseca entre grado de resistencia al fuego, tamaño del edificio y naturaleza del uso. Cuanto más grande sea el edificio, mayor será el número de ocupantes y, por tanto, el riesgo asociado, por lo cual la resistencia al fuego de la estructura debe ser mayor. La intención es proteger al edificio del fuego, o contenerlo el tiempo necesario para evacuar con seguridad a todos los ocupantes y posibilitar la actuación de los bomberos. La limitación de tamaño puede superarse si el edificio está equipado con un sistema automático de extinción de incendios, o si se divide mediante muros cortafuegos en áreas que no excedan la superficie máxima.

Clasificación de usos y grados de ocupación
(según el International Building Code)



- A Salas de reunión
  Auditorios, teatros y estadios
- B Oficinas
  Oficinas, laboratorios y centros de educación superior
- E Educativo
  Centros de enseñanza infantil
- F Industrial
  Instalaciones industriales
- H Alto riesgo
  Instalaciones donde se maneje un determinado volumen de materiales peligrosos
- I Alojamiento institucional
  Alojamiento tutelado de personas, como hospitales, guarderías y centros juveniles
- M Locales comerciales
  Locales para la exposición y venta de mercancías
- R Residencial
  Viviendas, apartamentos y hoteles
- S Almacenes
  Instalaciones de almacenaje

Altura y superficie máximas

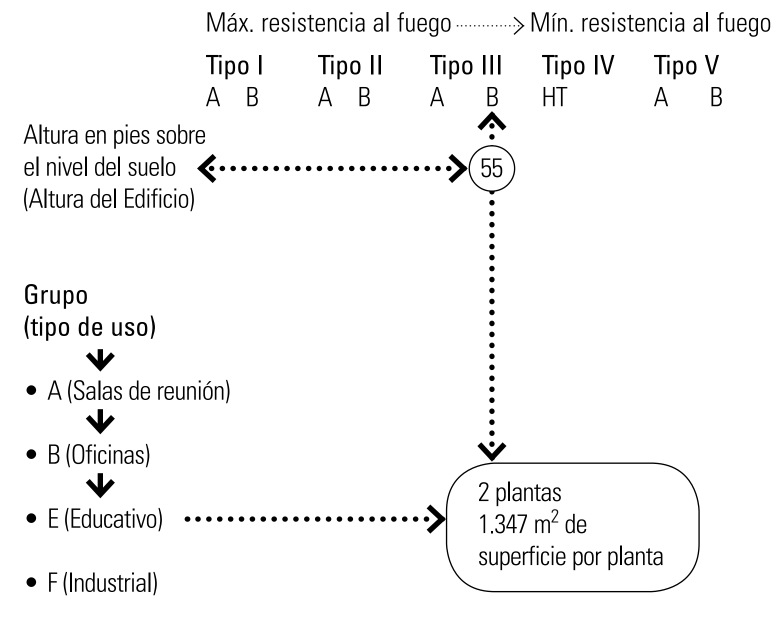
En la tabla 503 del International Building Code (IBC) se fijan la altura y superficies admisibles mediante la intersección del tipo de uso y del sistema constructivo. Puesto que el número máximo de ocupantes se fija previamente a la altura y la superficie, la tabla se consultará, por lo general, desde la columna del tipo de uso, para calcular la ocupación máxima que admite el edificio. La lectura transversal posterior permite conocer las alturas y superficies máximas en función del sistema constructivo.

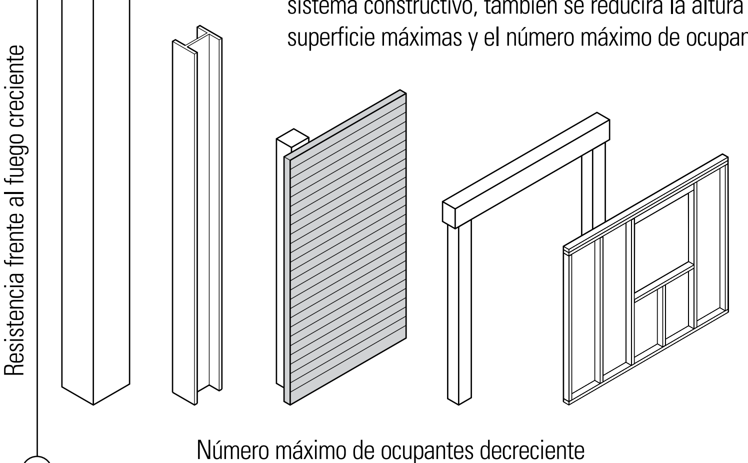
Nótese que la distinción entre las clases A y B de cada tipo o sistema constructivo se refiere a distintos grados de resistencia frente al fuego. La clase A se refiere a los mayores grados de resistencia, por lo cual admite mayores alturas y superficies que los edificios de la clase B. Utilizando la clasificación de los tipos de uso en función del grado de riesgo y los sistemas constructivos por su resistencia frente al fuego, cuanto mayor sea el grado de seguridad, mayor y más alto podrá ser el edificio.

Las alturas se expresan de dos maneras. La primera lo está en metros por encima del nivel del suelo, y normalmente es independiente del grado de ocupación, pero se encuentra limitada por la resistencia frente al fuego; la segunda cifra se refiere al número de plantas y está limitada por el grado de ocupación. Ambos criterios deben cumplirse con el fin de evitar que un edificio, sin superar el número máximo de plantas, pueda exceder la altura máxima total, simplemente aumentando las alturas entre plantas.

La ilustración de la página siguiente muestra la relación entre el grado de ocupación y sistema constructivo con la altura y superficie máximas admisibles. Los ejemplos enfatizan las diferencias existentes según se pasa de sistemas constructivos de Tipo I, con altas resistencias frente al fuego, a sistemas constructivos de Tipo V, sin ningún tipo de protección.

Tabla 503 del IBC



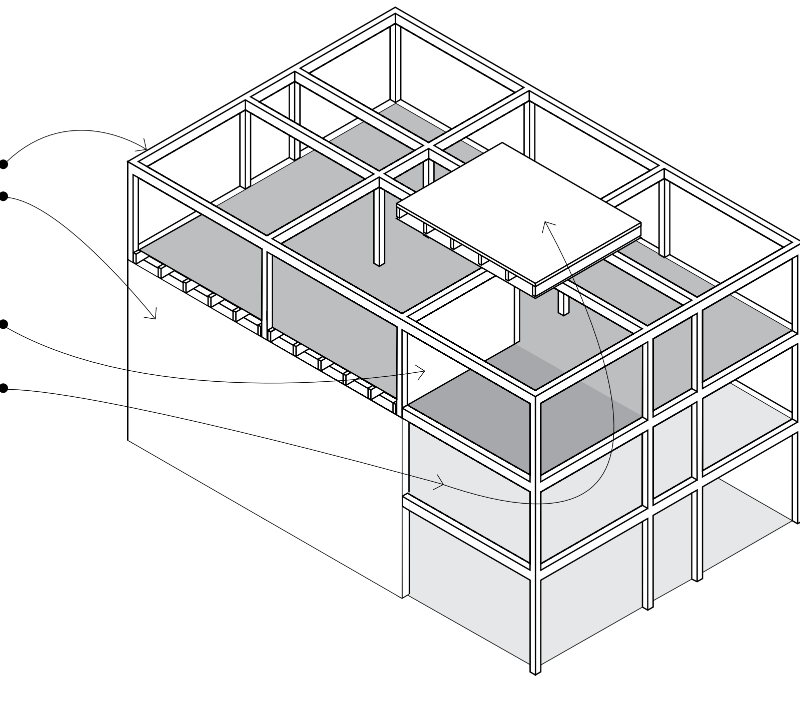


Extracto de la tabla 503 del IBC (que muestra la altura, el número de plantas y la superficie proporcional por planta admisibles)

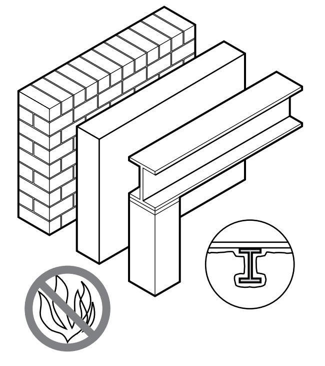
Sistema constructivo De la Tabla 601 del IBC	Tipo I A Protegido frente al fuego	Tipo II A Protegido frente al fuego	Tipo III B Parcialmente protegido	Tipo IV Madera	Tipo V B Sin protección
Grado de ocupación					
A-2 (restaurante)	Sin limitación	19,8 m/3/1.440 m^2	16,8 m/2/883 m^2	19,8 m/3/1.394 m^2	12,2 m/1/557 m^2
B (oficinas)	Sin limitación	19,8 m/5/3.484 m^2	16,8 m/4/1.765 m^2	19,8 m/5/3.344 m^2	12,2 m/2/836 m^2
M (comercio minorista)	Sin limitación	19,8 m/4/1.997 m^2	16,8 m/4/1.161 m^2	19,8 m/4/1.904 m^2	12,2 m/1/836 m^2
R-2 (apartamentos)	Sin limitación	19,8 m/4/2.230 m^2	16,8 m/4/1.486 m^2	19,8 m/4/1.904 m^2	12,2 m/2/650 m^2

Sistemas constructivos

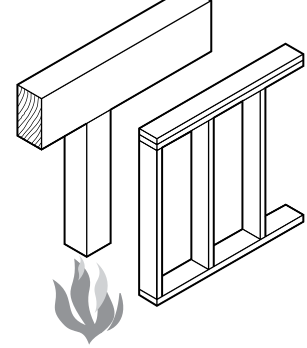
El IBC clasifica los sistemas constructivos de un edificio en función de la resistencia frente al fuego de sus componentes principales:



- **Tipo I:** edificios cuyos componentes principales están construidos con materiales incombustibles, como hormigón, ladrillos o acero. Se permiten algunos materiales combustibles siempre que tengan una función secundaria respecto a la estructura del edificio.
- **Tipo II:** edificios similares a los del tipo I, excepto por una reducción de la resistencia frente al fuego requerida de los componentes principales.
- **Tipo III:** edificios con cerramientos exteriores incombustibles y componentes interiores de cualquier tipo de material permitido por la norma.
- **Tipo IV:** edificios de madera, con cerramientos exteriores incombustibles y componentes interiores principales de madera natural o laminada con unas secciones mínimas y sin cámaras ocultas.
- **Tipo V:** edificios cuyos componentes estructurales, muros exteriores y particiones interiores son de cualquier material permitido por la norma.

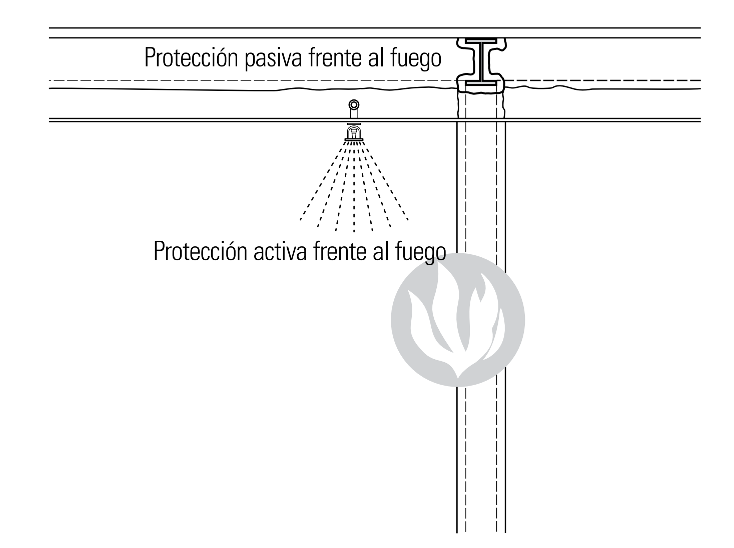


Construcción incombustible



Construcción combustible

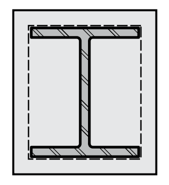
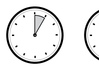
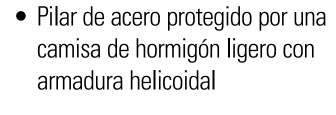
- La construcción protegida requiere que todos los elementos principales del edificio, excepto los tabiques y particiones, tengan una resistencia frente al fuego de al menos una hora.
- La construcción sin protección no debe cumplir ningún requisito de protección frente al fuego, excepto en cerramientos exteriores que estén próximos a un lindero.



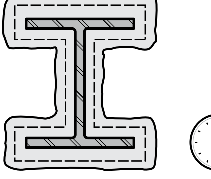
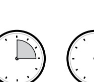
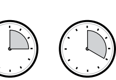
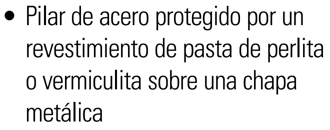
Grados de resistencias frente a fuego, en horas (basado en la Tabla 601 del IBC)

Sistema constructivo	Tipo I		Tipo II		Tipo III		Tipo IV	Tipo V	
	A	B	A	B	A	B	HT	A	B
Elementos constructivos									
Entramado estructural	3	2	1	0	1	0	2	1	0
Muros de carga									
Exteriores	3	2	1	0	2	2	2	1	0
Interiores	3	2	1	0	1	0	1/HT	1	0
Muros no portantes									
Exteriores	Los requisitos de resistencia frente al fuego de los cerramientos exteriores sin función estructural se basan en su separación respecto de parcelas vecinas, del eje de la calle o de una línea imaginaria entre dos edificios dentro de la misma parcela.								
Interiores	0	0	0	0	0	0	1/HT	0	0
Forjados	2	2	1	0	1	0	HT	1	0
Cubiertas	$1\frac{1}{2}$	1	1	0	1	0	HT	1	0

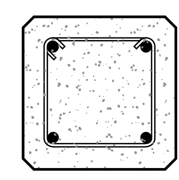
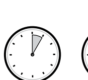
La resistencia frente al fuego se basa en el comportamiento de los diferentes materiales y elementos constructivos bajo condiciones de fuego, según el ensayo definido por la American Society for Testing and Materials (ASTM). En cualquier caso, la norma permite a los proyectistas el uso de diversos métodos alternativos para demostrar el cumplimiento con los criterios contra incendios. Uno de los métodos permite el uso de los valores calculados por organismos reconocidos (Underwriters Laboratory o Factory Mutual). El mismo IBC contiene una lista de detalles constructivos de obligado cumplimiento, donde se describen las medidas de protección que pueden aplicarse a los componentes de la estructura, forjados, cubiertas y muros para alcanzar los grados de resistencia exigibles.


- Pilar de acero protegido por una camisa de hormigón ligero con armadura helicoidal
- Resistencia: 1-4 horas


- Pilar de acero protegido por un revestimiento de pasta de perlita o vermiculita sobre una chapa metálica
- Resistencia: 3-4 horas


- Pilar de hormigón armado con árido ligero
- Resistencia: 1-4 horas

A la hora de planificar cualquier sistema estructural, hay dos atributos que deberían incorporarse al diseño para guiar su desarrollo y asegurar su estabilidad, durabilidad y eficiencia. Estos atributos —redundancia y continuidad— no solo se aplican a un material o un componente concreto de la estructura (vigas, pilares o cerchas), sino al conjunto de la estructura considerada como sistema global de partes interrelacionadas.

Un fallo de la estructura puede ser el resultado de la fractura, deformación elástica o plástica de cualquier elemento o unión de la estructura, al no tener capacidad de asumir la carga para la cual se diseñó. Para evitar este problema se utilizan coeficientes de seguridad, expresados como la razón entre la tensión máxima que puede soportar un elemento estructural y la tensión máxima que tendrá que soportar según la función asignada en el diseño.

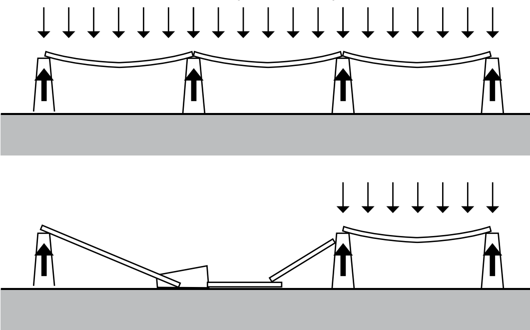
En condiciones normales, cuando se aplica una carga sobre cualquier componente de la estructura, este experimenta una deformación plástica o alabeo que desaparece cuando cesa la carga aplicada. Sin embargo, las cargas extremas, como aquellas generadas durante un terremoto, pueden provocar una deformación inelástica después de la cual el componente no puede recuperar su forma original. Para resistir tales cargas extremas, los elementos estructurales deberían estar construidos con materiales dúctiles.

La ductilidad es una propiedad de los materiales mediante la cual pueden deformarse plásticamente antes de romperse cuando son sometidos a tensiones superiores a su límite elástico. La ductilidad es una propiedad deseable para un material estructural, pues el comportamiento plástico es un indicador de una reserva de resistencia y, a menudo, puede servir de aviso visual previo al colapso. Además, la ductilidad de un elemento estructural permite que el exceso de carga se reparta entre otros componentes de la estructura o entre otras partes del mismo elemento.

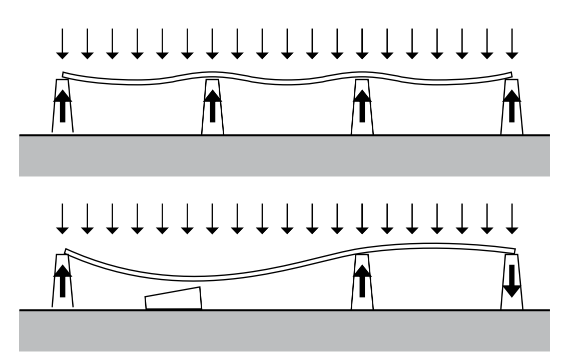
Redundancia

Además del uso de coeficientes de seguridad y materiales dúctiles, otro método para evitar fallos en la estructura consiste en introducir redundancia en su diseño. Una estructura redundante incluye elementos, uniones o soportes no estrictamente necesarios para garantizar su correcto funcionamiento, pero que, en caso de que falle uno de ellos, otros proporcionen una vía alternativa para la transmisión de cargas. Dicho de otro modo, el concepto de redundancia implica proporcionar múltiples trayectorias para que las cargas puedan sortear cualquier punto excesivamente tensionado o cualquier fallo localizado de la estructura.

La redundancia, en especial en elementos de arriostramiento lateral de la estructura, resulta especialmente recomendable en áreas de actividad sísmica elevada. También es un atributo esencial en estructuras de grandes luces, donde el fallo de una cercha, arco o viga principal podría ocasionar el colapso de una porción importante de la estructura, si no de la totalidad.

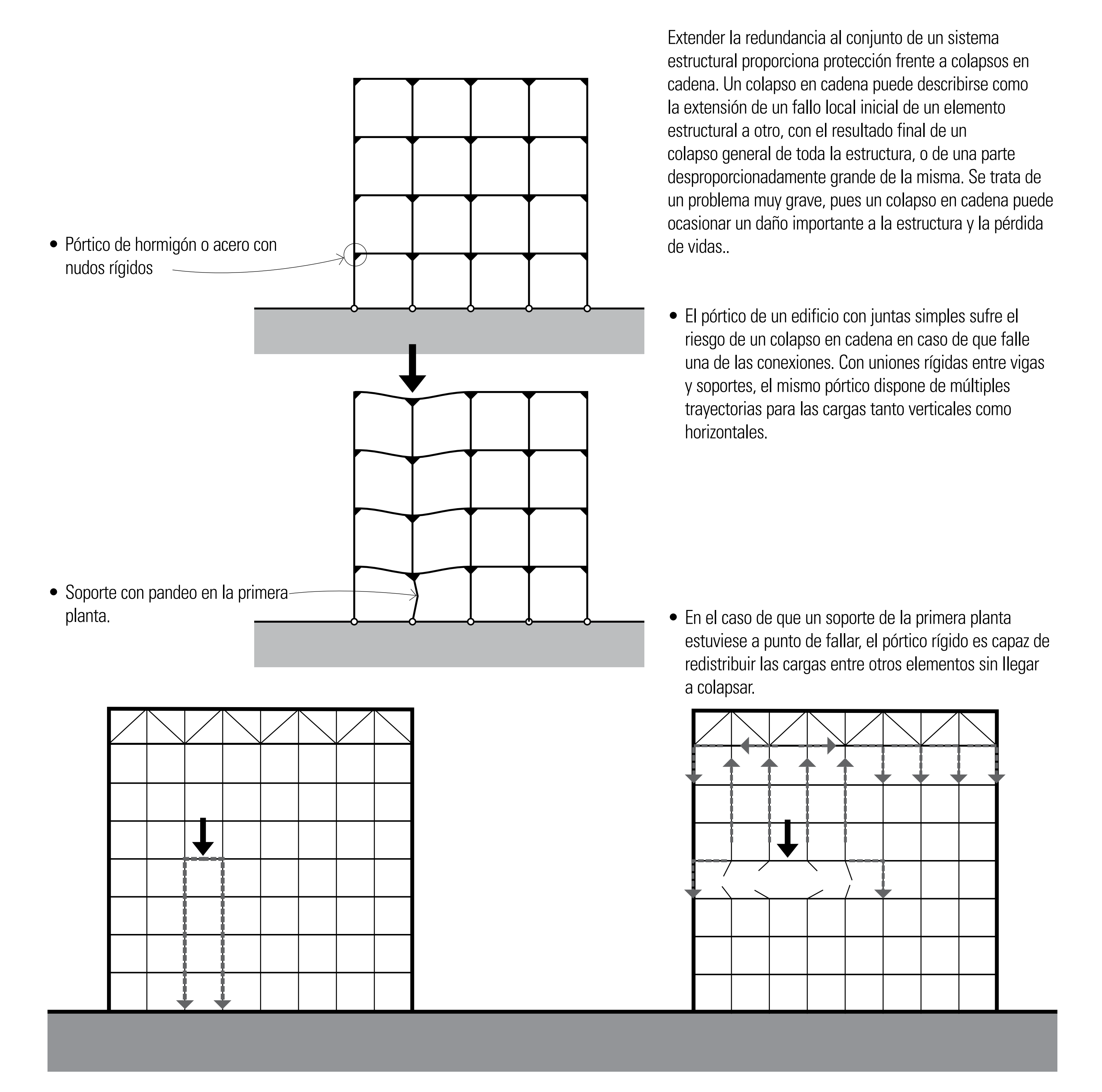


- Las vigas simples apoyadas en sus extremos son estructuras isostáticas; las reacciones de los apoyos se calculan fácilmente mediante las ecuaciones de equilibrio.



- Si la misma viga es continua a lo largo de los cuatro soportes sobre los cuales se apoya, el comportamiento estructural no puede determinarse exclusivamente mediante ecuaciones de equilibrio, ya que hay más reacciones que ecuaciones. En efecto, la continuidad de la viga a lo largo de múltiples soportes produce como resultado trayectorias redundantes para que las cargas verticales y horizontales lleguen a los cimientos.

Extender la redundancia al conjunto de un sistema estructural proporciona protección frente a colapsos en cadena. Un colapso en cadena puede describirse como la extensión de un fallo local inicial de un elemento estructural a otro, con el resultado final de un colapso general de toda la estructura, o de una parte desproporcionadamente grande de la misma. Se trata de un problema muy grave, pues un colapso en cadena puede ocasionar un daño importante a la estructura y la pérdida de vidas..

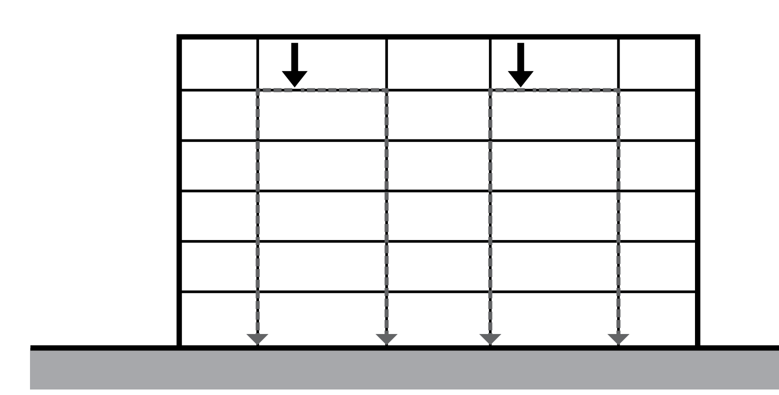


- El pórtico de un edificio con juntas simples sufre el riesgo de un colapso en cadena en caso de que falle una de las conexiones. Con uniones rígidas entre vigas y soportes, el mismo pórtico dispone de múltiples trayectorias para las cargas tanto verticales como horizontales.

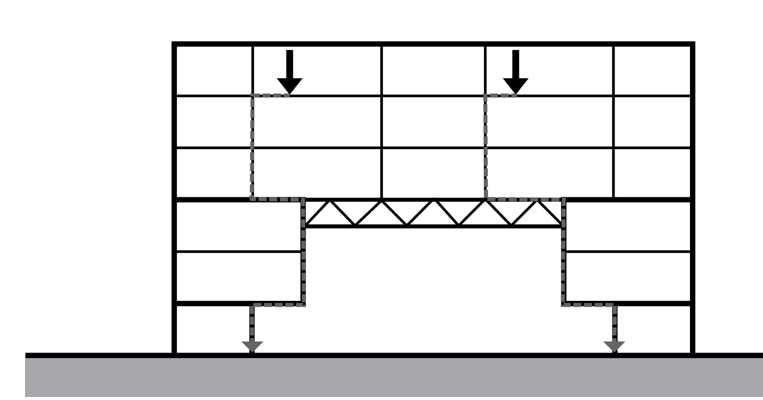
- En el caso de que un soporte de la primera planta estuviese a punto de fallar, el pórtico rígido es capaz de redistribuir las cargas entre otros elementos sin llegar a colapsar.

- Las cargas verticales normalmente son recogidas por una viga que las trasmite mediante flexión hasta los pilares adyacentes. A su vez, los pilares transmiten las cargas verticalmente hasta los cimientos.

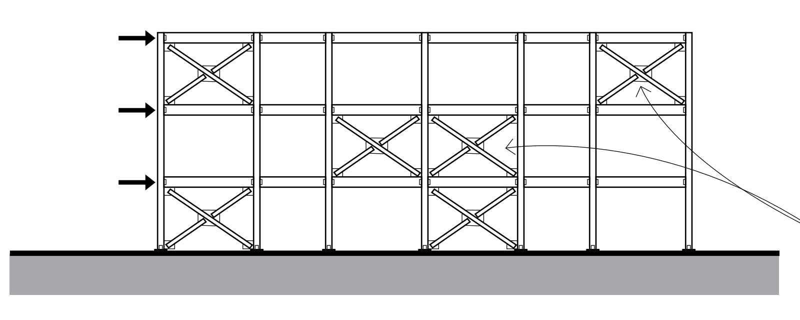
- Si una serie de pilares de una planta cualquiera fuesen dañados o destruidos, las cargas verticales se redirigen por los pilares hacia arriba hasta la cercha de la cubierta. La cercha redistribuye las cargas entre los pilares que aún están operativos. La redundancia en el diseño global de la estructura proporciona trayectorias alternativas a las cargas y ayuda a evitar un colapso en cadena.

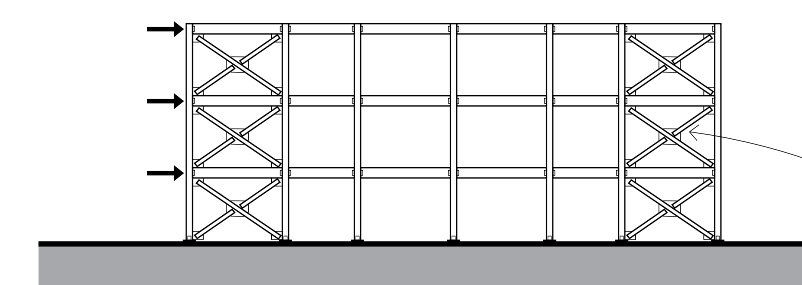


• Trayectorias directas de las cargas



• Trayectorias indirectas de las cargas



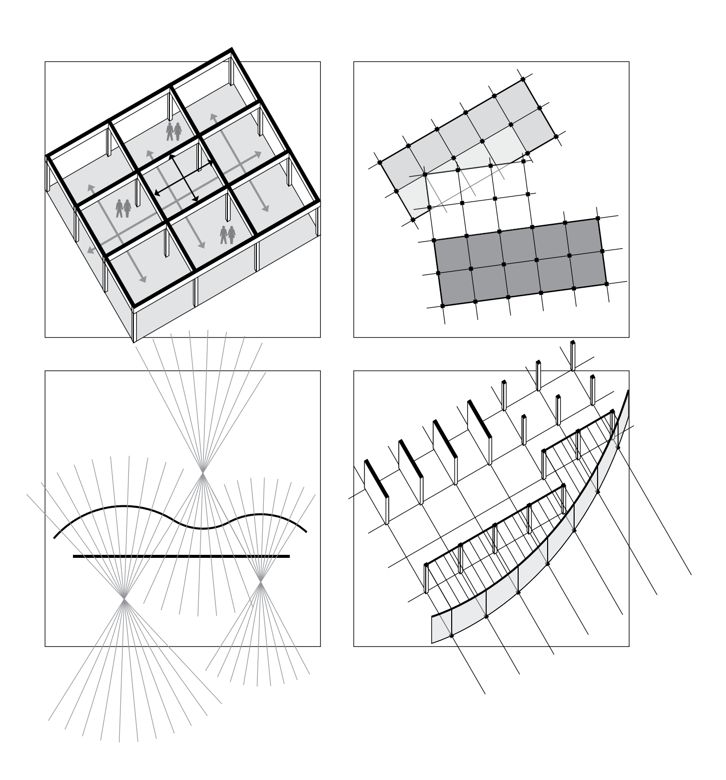


Continuidad

La continuidad de una estructura proporciona una trayectoria directa e ininterrumpida para la transmisión de las cargas desde la cubierta hasta los cimientos. Las trayectorias continuas ayudan a asegurar que todas las cargas a las cuales está sujeta la estructura puedan transferirse desde su punto de aplicación hasta los cimientos. Todos los elementos y las uniones a lo largo de la trayectoria deben contar con la suficiente resistencia, rigidez y capacidad de deformación para transmitir dichas cargas sin poner en riesgo el comportamiento unitario de la estructura.

- Para evitar un colapso en cadena, los componentes y los nudos de la estructura deberían estar adecuadamente unidos entre sí, de modo que las tensiones y los desplazamientos puedan transferirse entre los elementos verticales y horizontales de la estructura.
- Las uniones rígidas aumentan la resistencia y la rigidez del conjunto de la estructura permitiendo que todos los componentes actúen como una unidad. Una conexión inadecuada representa un punto débil en la trayectoria de las cargas, y constituye una causa común de daño y colapso de los edificios durante los terremotos.
- Los elementos rígidos no estructurales deberían aislarse adecuadamente de la estructura principal para evitar que soporten cargas que les puedan causar daños, al tiempo que, en el proceso, habilitan trayectorias de cargas inesperadas que pueden dañar otros elementos estructurales.
- Las trayectorias de las cargas por la estructura deberían ser lo más directas posible y evitarse los desplazamientos de ejes.
- Interrumpir la continuidad vertical de los soportes o muros de carga en plantas sucesivas implica que las cargas verticales deban transmitirse en horizontal, provocando grandes esfuerzos de flexión en las vigas o cerchas, que deben aumentar su sección.
- Las cargas laterales de la cubierta son absorbidas por las cruces de san Andrés de la tercera planta. Los arriostramientos transmiten las cargas horizontales al forjado de la tercera planta y de ahí pasan a su vez a las cruces de la segunda planta. A continuación, estas cargas laterales pasan a las cruces de la planta baja a través del forjado de la segunda planta. La trayectoria de las cargas es bastante sinuosa, debido a la discontinuidad vertical de las diagonales.
- Cuando el sistema de arriostramiento se organiza de forma continua, en este caso formando una cercha vertical, las cargas tienen una trayectoria muy directa hasta los cimientos.

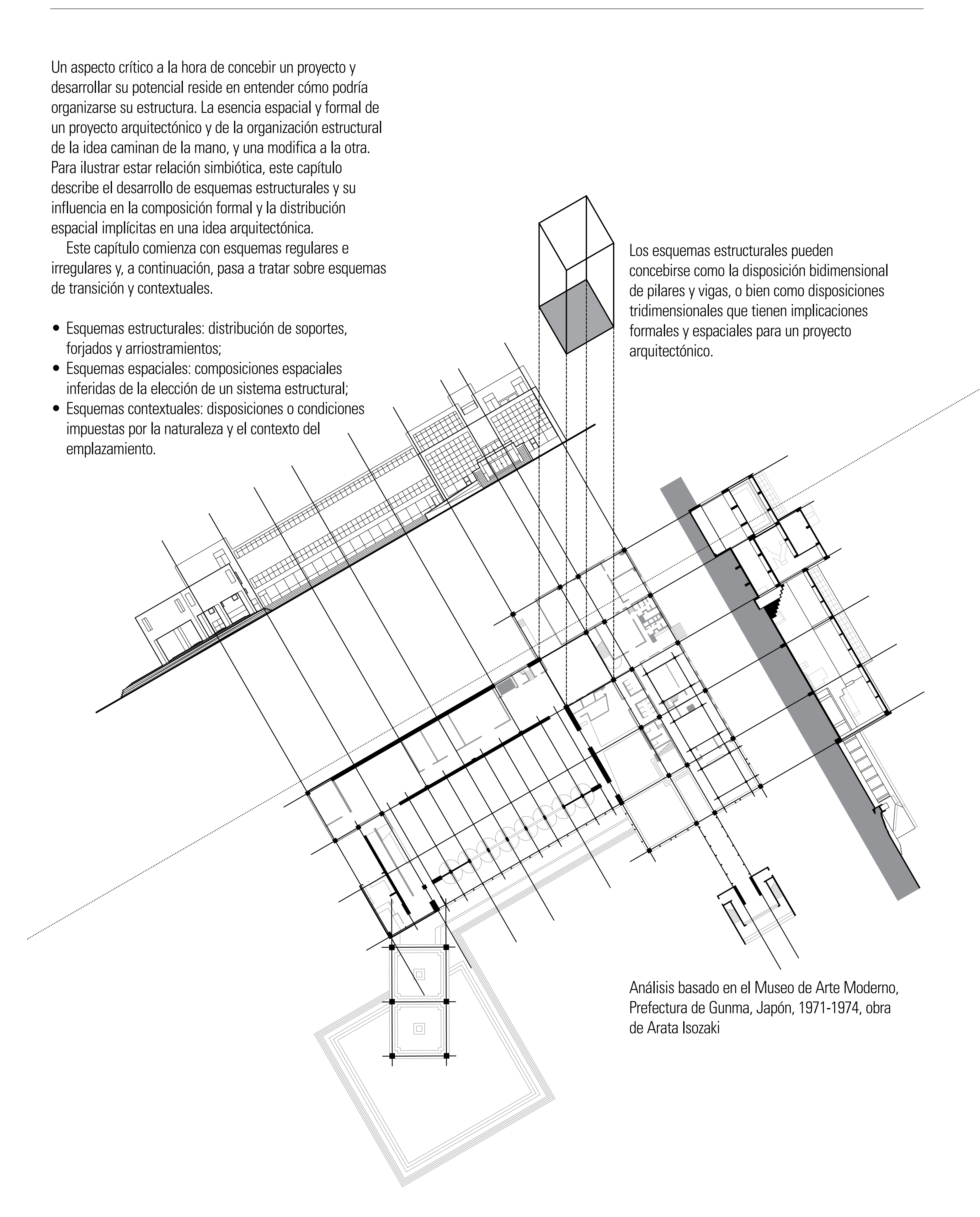
2
Esquemas estructurales



Un aspecto crítico a la hora de concebir un proyecto y desarrollar su potencial reside en entender cómo podría organizarse su estructura. La esencia espacial y formal de un proyecto arquitectónico y de la organización estructural de la idea caminan de la mano, y una modifica a la otra. Para ilustrar estar relación simbiótica, este capítulo describe el desarrollo de esquemas estructurales y su influencia en la composición formal y la distribución espacial implícitas en una idea arquitectónica.

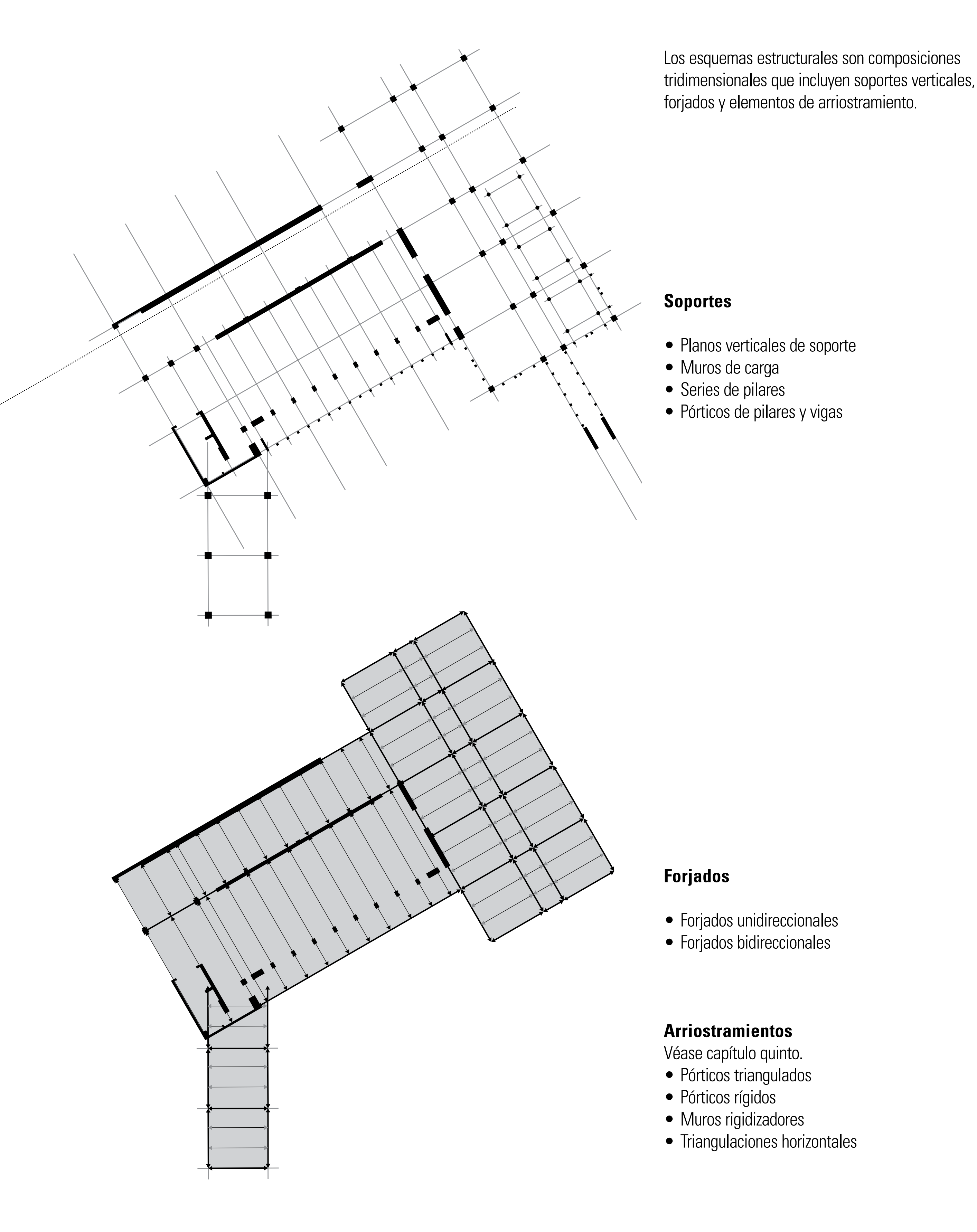
Este capítulo comienza con esquemas regulares e irregulares y, a continuación, pasa a tratar sobre esquemas de transición y contextuales.

- Esquemas estructurales: distribución de soportes, forjados y arriostramientos;
- Esquemas espaciales: composiciones espaciales inferidas de la elección de un sistema estructural;
- Esquemas contextuales: disposiciones o condiciones impuestas por la naturaleza y el contexto del emplazamiento.



Los esquemas estructurales pueden concebirse como la disposición bidimensional de pilares y vigas, o bien como disposiciones tridimensionales que tienen implicaciones formales y espaciales para un proyecto arquitectónico.

Análisis basado en el Museo de Arte Moderno, Prefectura de Gunma, Japón, 1971-1974, obra de Arata Isozaki



Los esquemas estructurales son composiciones tridimensionales que incluyen soportes verticales, forjados y elementos de arriostramiento.

Soportes

- Planos verticales de soporte
- Muros de carga
- Series de pilares
- Pórticos de pilares y vigas

Forjados

- Forjados unidireccionales
- Forjados bidireccionales

Arriostramientos
Véase capítulo quinto.
- Pórticos triangulados
- Pórticos rígidos
- Muros rigidizadores
- Triangulaciones horizontales

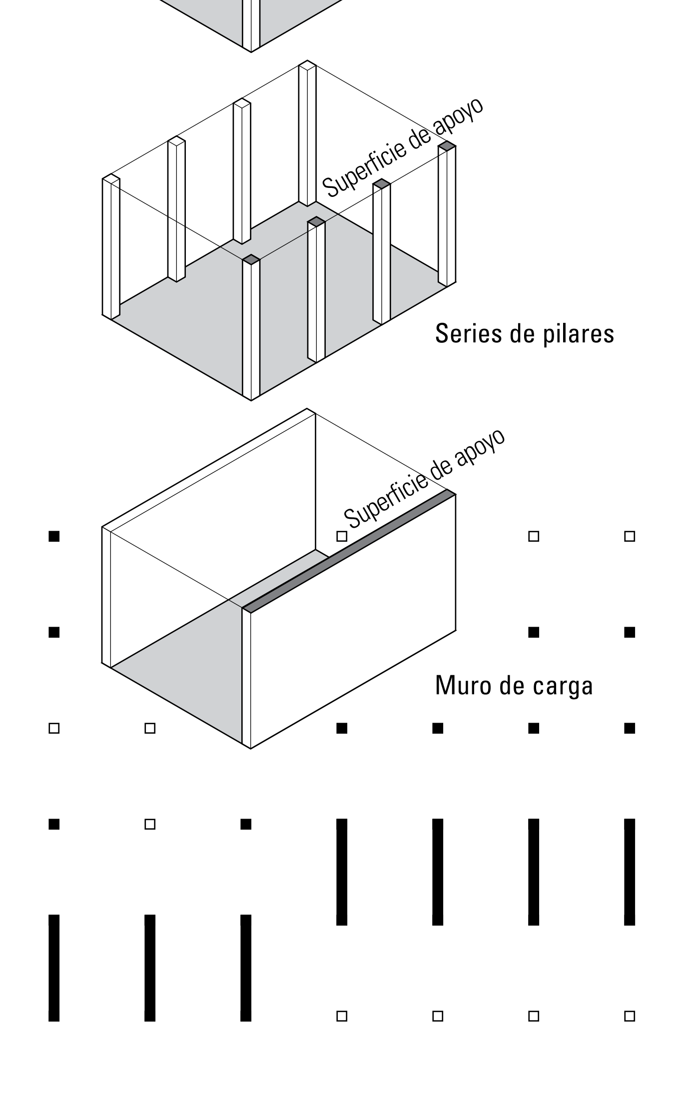
Unidades estructurales
Una unidad estructural es un conjunto discreto de elementos estructurales capaces de formar o marcar los límites de un volumen espacial sencillo. Hay muchas formas fundamentales de definir un único volumen de espacio.

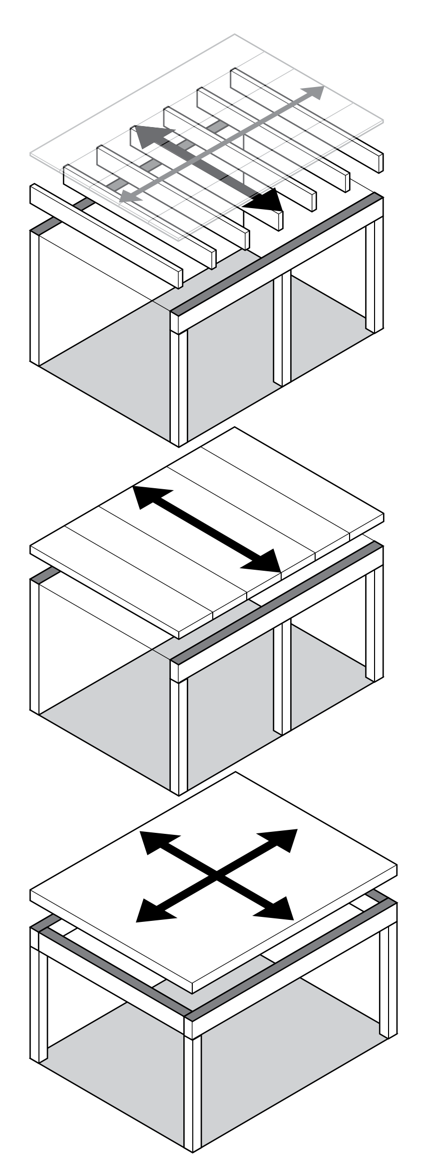
Opciones de soporte
Dos pilares que soportan una viga o una cercha crean un pórtico que separa al tiempo que une dos espacios adyacentes. Cualquier cerramiento pensado para proporcionar refugio físico y privacidad visual requiere la construcción de un muro no estructural, que puede apoyarse en la estructura o ser autoportante.

Los pilares soportan cargas concentradas. En la medida en la cual el número de pilares crezca y se reduzca la distancia entre los mismos, el plano de soportes se hace más sólido que vacío y se aproxima al carácter del muro de carga, que soporta cargas distribuidas.

Un muro de carga soporta y divide el espacio en dos unidades distintas y separadas. Cualquier hueco que relacione los espacios en cualquier cara del muro tiende a debilitar su integridad estructural.

Tanto los pórticos de vigas y pilares como los muros de carga pueden combinarse para dar lugar a cualquier tipo de composición espacial.





Opciones de forjado
Crear un volumen requiere un mínimo de dos planos verticales de apoyo, ya sean pórticos, muros de carga o una combinación de ambos. Para proporcionar protección frente a las inclemencias del tiempo, además de cierto sentido de intimidad, debe disponerse de algún tipo de cubierta que salve la luz entre los sistemas de apoyo. A la hora de examinar las formas fundamentales para cubrir el espacio entre dos planos de soporte, debemos tener en cuenta el modo como se distribuyen las cargas aplicadas y la forma del forjado.

Forjados unidireccionales
La forma en la cual el forjado transmita y distribuya las cargas aplicadas, en una, dos o múltiples direcciones, determinará la distribución y el tipo de apoyo. Como su nombre indica, un forjado unidireccional transmite las cargas aplicadas a un par de planos de soporte más o menos paralelos. Esta configuración deja libres dos de los lados de la unidad espacial para unirse a unidades adyacentes, aportando un intenso carácter direccional.

Forjados bidireccionales
Por otra parte, los sistemas bidireccionales transmiten las cargas aplicadas en dos direcciones y requieren dos series de planos o pilares de soporte, más o menos perpendiculares entre sí y respecto de la dirección en la cual se transmiten las cargas.

Para decidir entre forjados unidireccionales o bidireccionales deben tomarse en consideración una serie de variables:
- Dimensiones, escala y proporciones de las luces.
- Materiales empleados en la estructura.
- Rigidez de las conexiones constructivas.

Para información más detallada, véanse los capítulos tercero y cuarto.

Conexión entre unidades estructurales

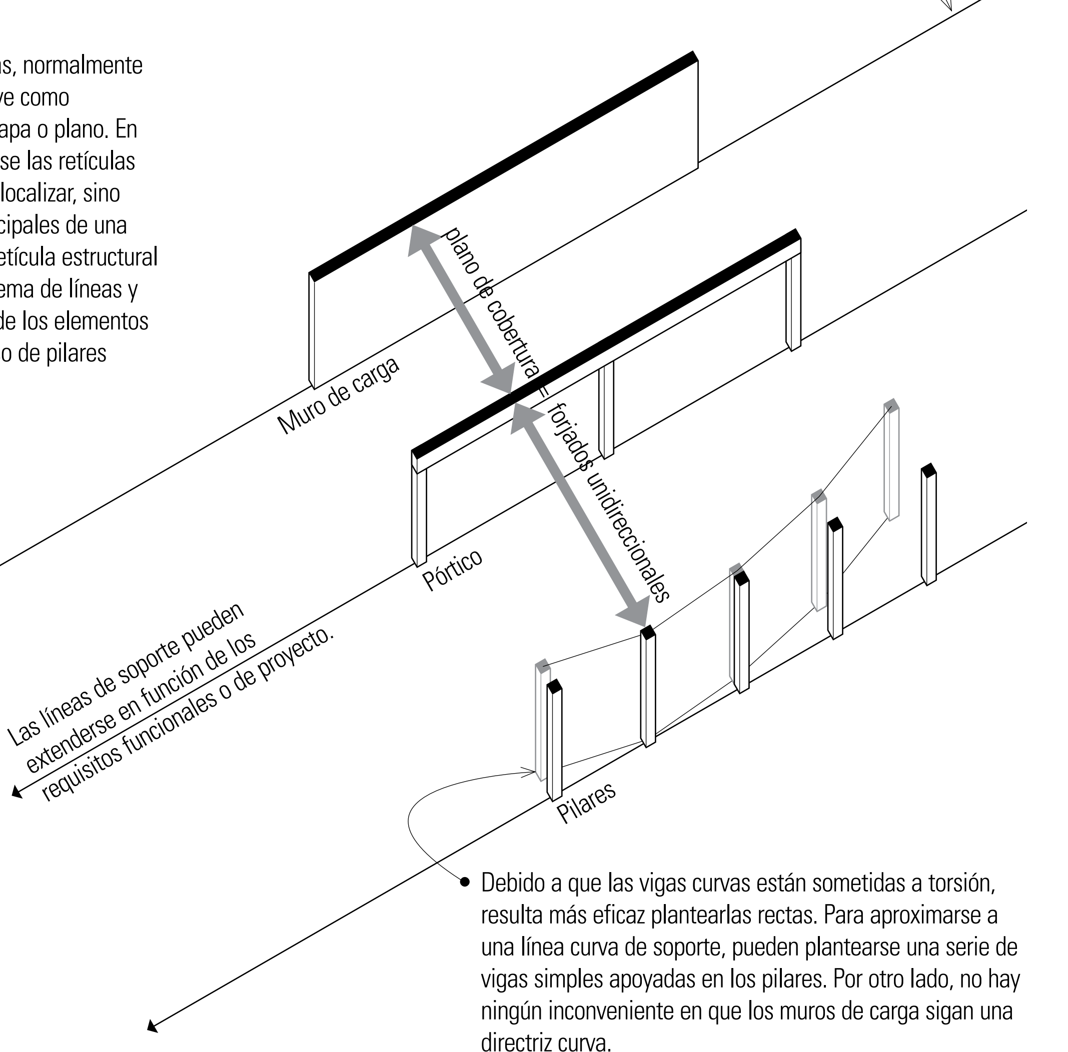
Puesto que la mayor parte de los edificios están compuestos de más de un espacio, el sistema estructural debe dar cabida a una serie de espacios de dimensiones, usos, relaciones y orientaciones variables. Para ello, debemos conectar las unidades estructurales en un conjunto mayor, necesariamente relacionado con la organización de los espacios dentro del edificio, así como con la forma y la composición del edificio.

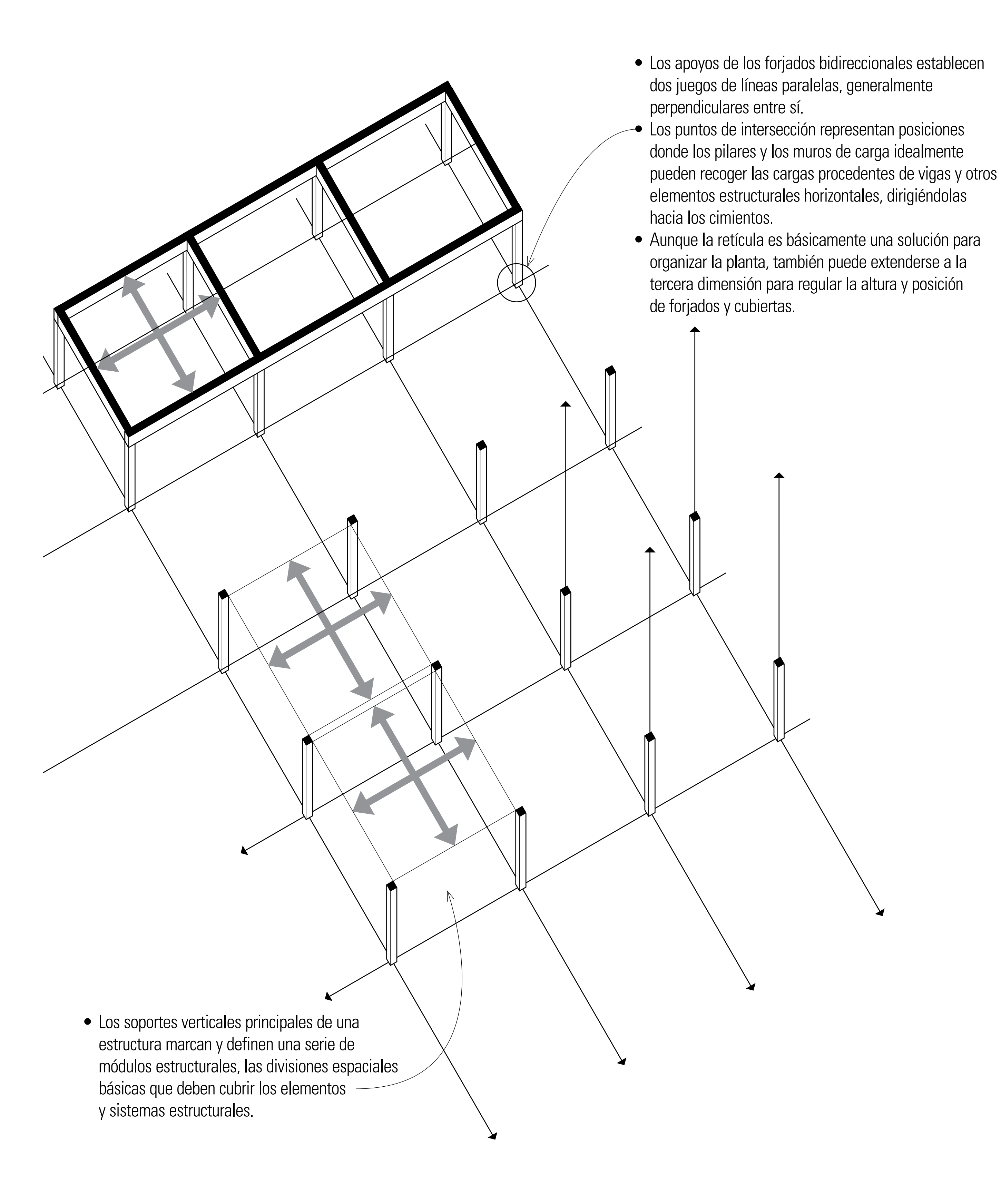
Debido a que la continuidad es siempre una condición estructural recomendable, es aconsejable extender las unidades estructurales a lo largo de los principales ejes de pilares y siguiendo las direcciones de los forjados para formar una retícula estructural tridimensional. Si resulta necesario acomodar espacios de forma o tamaño excepcional, puede adaptarse la retícula estructural distorsionando, deformando o agrandando determinadas unidades. Incluso cuando una sola unidad estructural envuelve todos los espacios de un edificio, estos mismos espacios necesitan una estructura o soporte como unidades o entidades compositivas.

Retículas estructurales

Una retícula es un patrón de líneas rectas, normalmente equidistantes y perpendiculares, que sirve como referencia para localizar puntos en un mapa o plano. En el proyecto arquitectónico suelen utilizarse las retículas como dispositivo de orden, no solo para localizar, sino también para regular los elementos principales de una planta. Por tanto, cuando hablamos de retícula estructural nos referimos específicamente a un sistema de líneas y puntos que sitúan y regulan la posición de los elementos estructurales principales, como es el caso de pilares y muros de carga.

- Las líneas paralelas en planta de una retícula indican la localización y orientación posibles de los planos verticales de soporte, que pueden ser muros de carga, pórticos, series de pilares o cualquier combinación de los mismos.





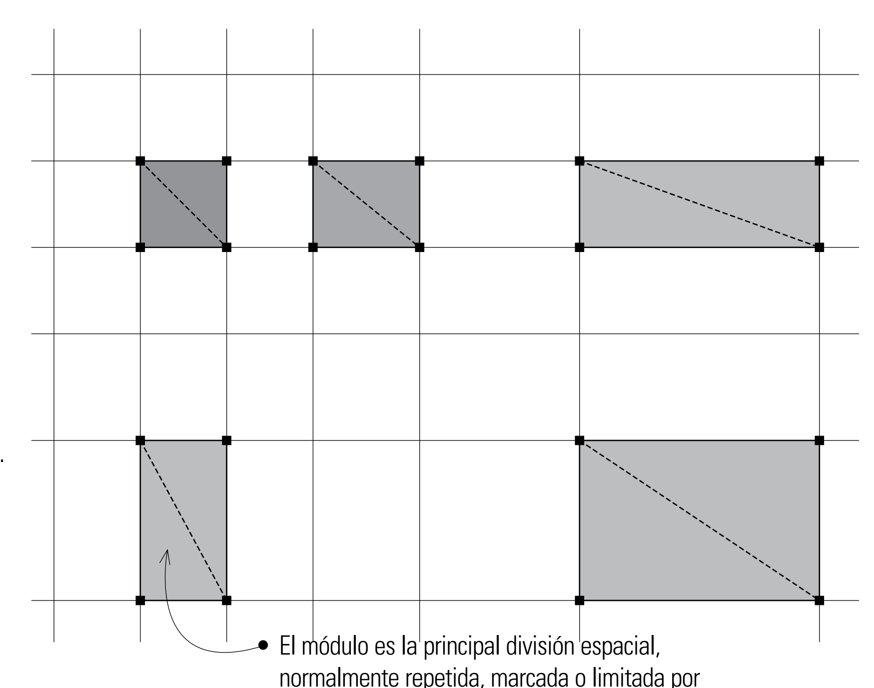
• Los apoyos de los forjados bidireccionales establecen dos juegos de líneas paralelas, generalmente perpendiculares entre sí.
• Los puntos de intersección representan posiciones donde los pilares y los muros de carga idealmente pueden recoger las cargas procedentes de vigas y otros elementos estructurales horizontales, dirigiéndolas hacia los cimientos.
• Aunque la retícula es básicamente una solución para organizar la planta, también puede extenderse a la tercera dimensión para regular la altura y posición de forjados y cubiertas.
• Los soportes verticales principales de una estructura marcan y definen una serie de módulos estructurales, las divisiones espaciales básicas que deben cubrir los elementos y sistemas estructurales.

Al diseñar una retícula estructural adecuada al proyecto, deben tenerse en cuenta una serie de características importantes de la retícula por su impacto en la idea de proyecto, para dar cabida al programa de actividades y para diseñar la estructura.

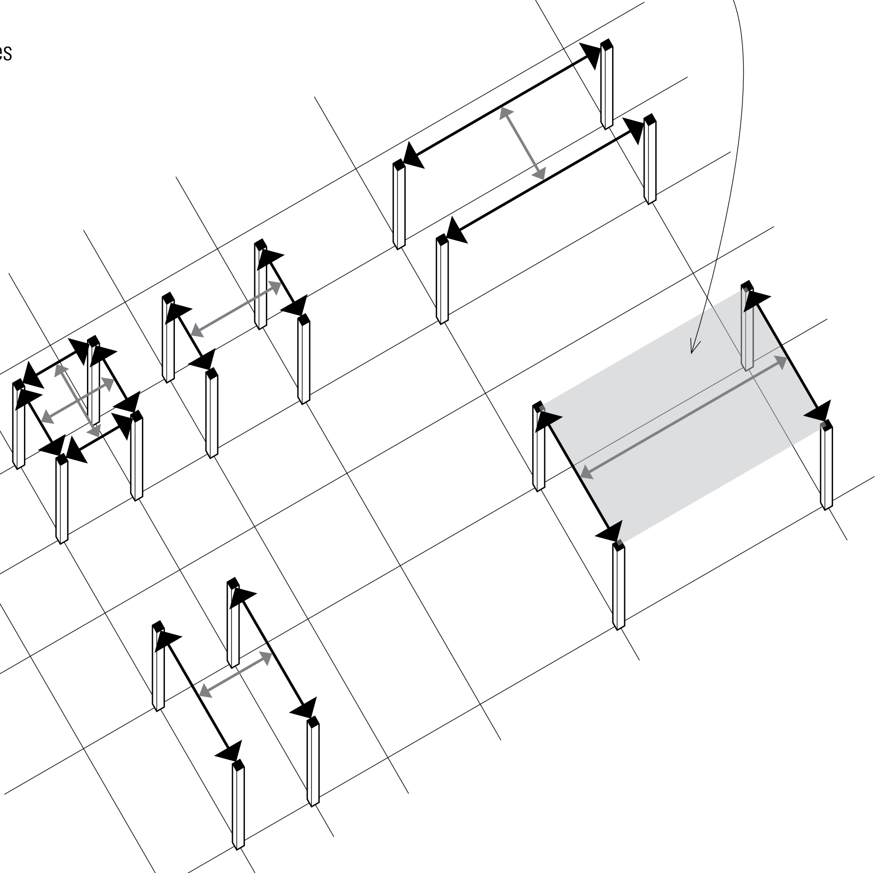
Proporciones
Las proporciones del módulo estructural influyen, y pueden limitar, las opciones en cuanto a estructura y materiales de los sistemas de forjados. Mientras que los sistemas unidireccionales son flexibles y pueden situarse en cualquier dirección del módulo, ya sea cuadrado o rectangular, los sistemas bidireccionales son más adecuados para cubrir espacios cuadrados o similares.

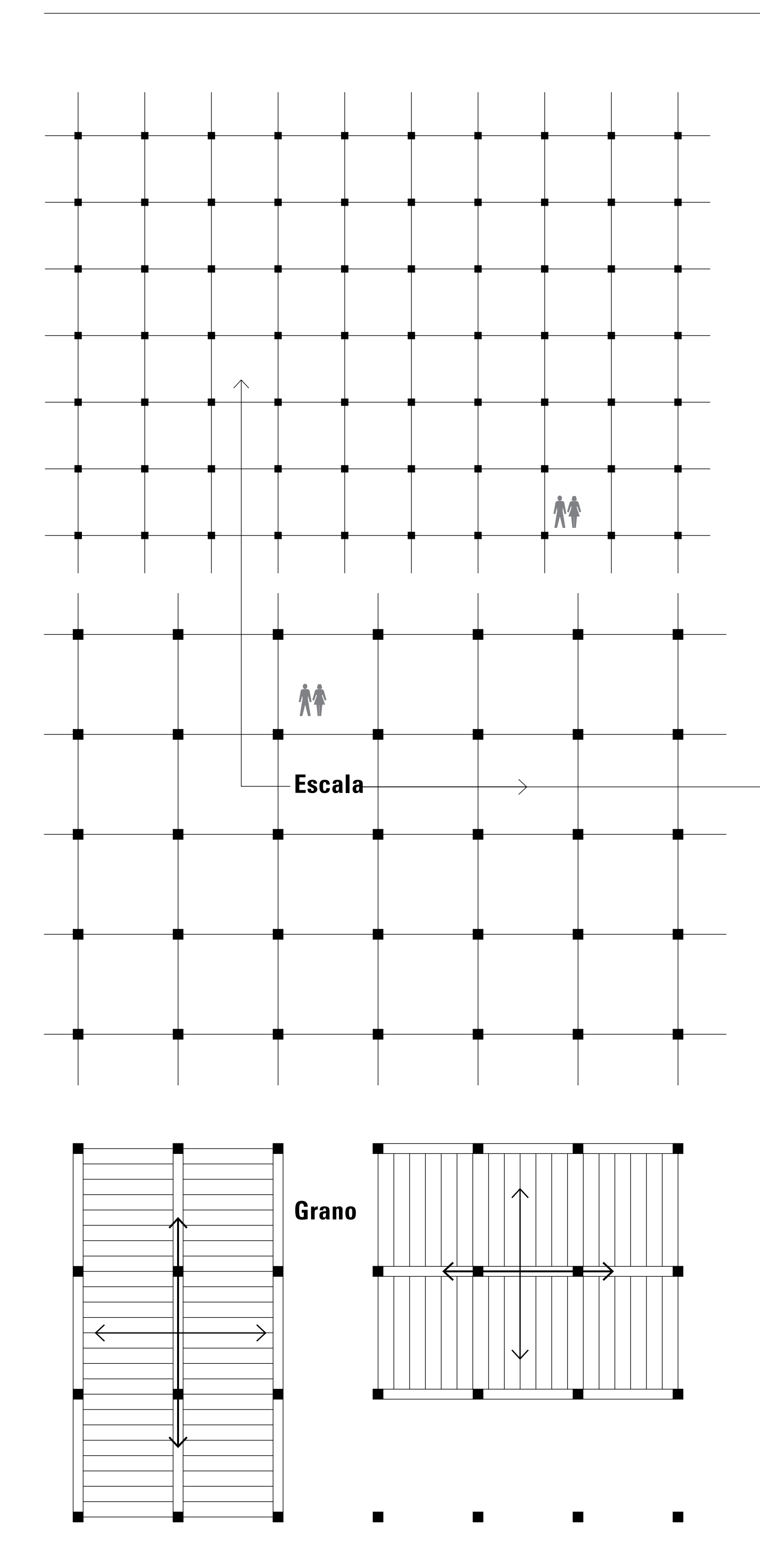
Dimensiones
Las dimensiones del módulo estructural influyen obviamente tanto en la dirección como en la luz que deben salvar los forjados.

- Dirección del forjado
  La dirección de las luces que hay que salvar, determinada por la dirección de los propios forjados, afecta a la naturaleza de la composición espacial, la calidad de los espacios y, en cierta medida, a los costes de construcción.
- Longitud de las luces
  La distancia entre los planos verticales de soporte determina la luz que salvan los forjados, lo cual, a su vez, afecta a la elección de los materiales y al tipo de forjado utilizado. A mayor luz, mayor canto de forjado.



- El módulo es la principal división espacial, normalmente repetida, marcada o limitada por los soportes principales de una estructura.





Escala

En diseño, la escala se refiere a la extensión o tamaño proporcionado de un elemento o composición en relación con determinada norma o estándar. Utilizamos expresiones como gran escala, pequeña escala, delgada o gruesa, para describir cómo percibimos o juzgamos los tamaños relativos de las cosas. Al diseñar una retícula estructural podemos referirnos también a su escala, juzgando las proporciones y el tamaño relativo de su módulo en relación con aquello que consideramos normal. La escala de una retícula estructural se relaciona con:

- el tipo de actividad humana que alberga;
- el rango de luces en el cual resulta eficiente un tipo de forjado;
- la naturaleza del terreno sobre el cual se asienta el edificio.

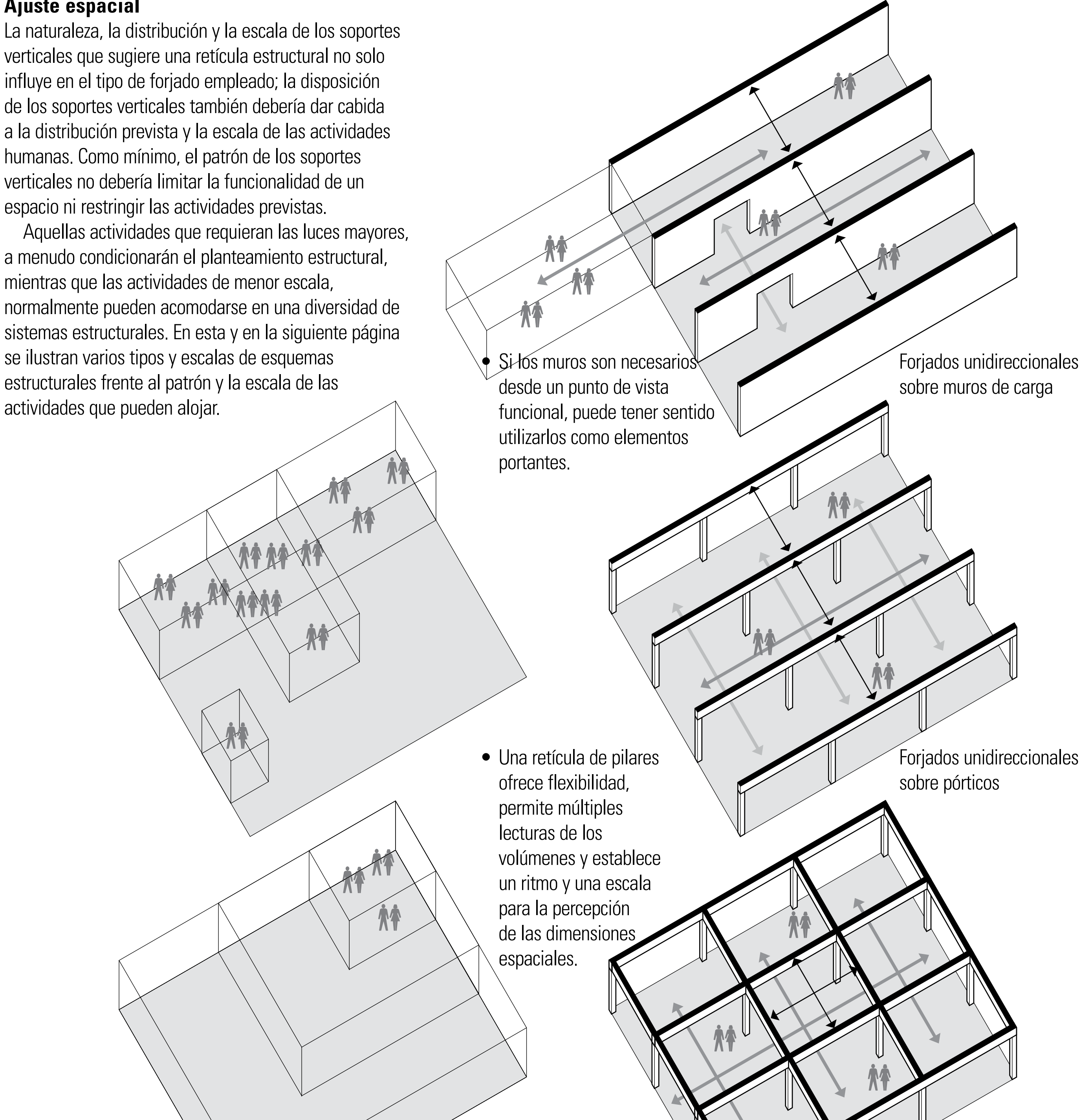
Otro aspecto de la escala es el tamaño relativo de los elementos. Algunas estructuras pueden percibirse como densas por su uso de elementos relativamente voluminosos que transmiten cargas elevadas. Por otro lado, hay estructuras que distribuyen las cargas entre un gran número de elementos relativamente menudos.

Un último atributo de algunos sistemas estructurales es su grano, determinado por la dirección, tamaño y disposición de los elementos del forjado.

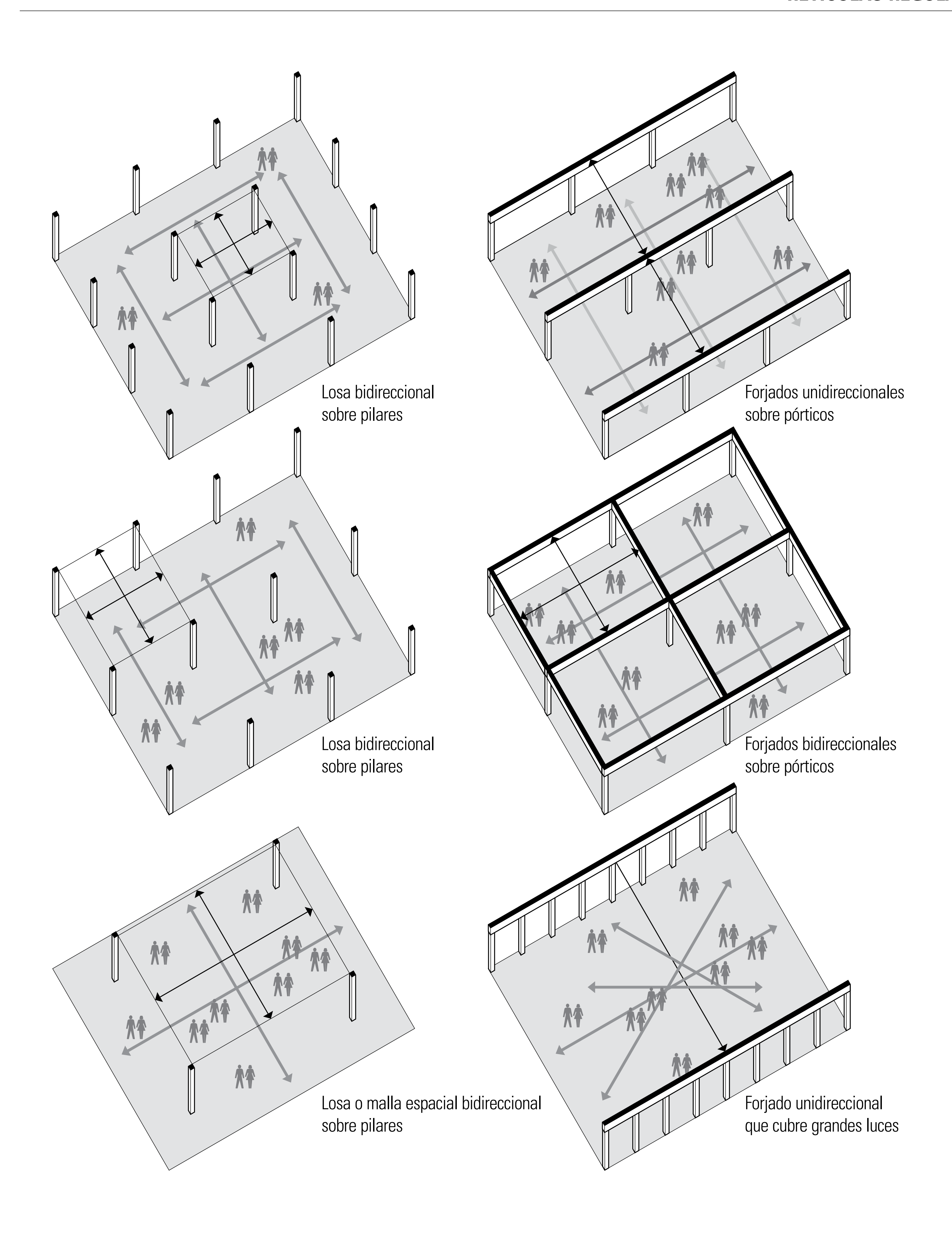
Ajuste espacial

La naturaleza, la distribución y la escala de los soportes verticales que sugiere una retícula estructural no solo influye en el tipo de forjado empleado; la disposición de los soportes verticales también debería dar cabida a la distribución prevista y la escala de las actividades humanas. Como mínimo, el patrón de los soportes verticales no debería limitar la funcionalidad de un espacio ni restringir las actividades previstas.

Aquellas actividades que requieran las luces mayores, a menudo condicionarán el planteamiento estructural, mientras que las actividades de menor escala, normalmente pueden acomodarse en una diversidad de sistemas estructurales. En esta y en la siguiente página se ilustran varios tipos y escalas de esquemas estructurales frente al patrón y la escala de las actividades que pueden alojar.



- Si los muros son necesarios desde un punto de vista funcional, puede tener sentido utilizarlos como elementos portantes.
- Una retícula de pilares ofrece flexibilidad, permite múltiples lecturas de los volúmenes y establece un ritmo y una escala para la percepción de las dimensiones espaciales.


Losa bidireccional
sobre pilares
Forjados unidireccionales
sobre pórticos
Losa bidireccional
sobre pilares
Forjados bidireccionales
sobre pórticos
Losa o malla espacial bidireccional
sobre pilares
Forjado unidireccional
que cubre grandes luces

Las retículas regulares definen luces iguales, permiten el uso de elementos estructurales repetitivos y proporcionan la eficiencia de la continuidad estructural a lo largo de una serie de módulos. Aunque las retículas regulares no pueden considerarse como la norma, son una forma útil de empezar a pensar sobre las implicaciones estructurales de diversos patrones reticulares.

Retículas cuadradas

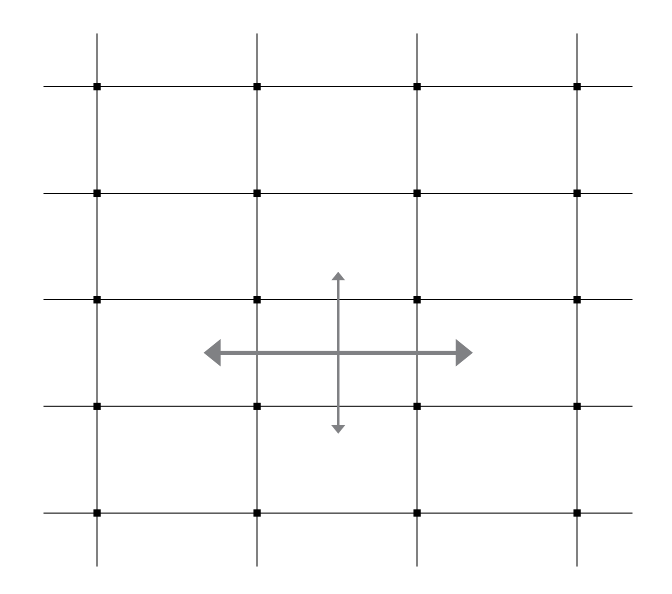
Un espacio cuadrado aislado puede cubrirse mediante un forjado unidireccional o bidireccional. Sin embargo, cuando este espacio se extiende en ambas direcciones formando una retícula, la ventaja estructural de la continuidad en ambas direcciones sugiere la utilización de forjados bidireccionales de hormigón, especialmente en el caso de luces pequeñas o medias.

Mientras que los esfuerzos en dos direcciones requieren retículas cuadradas o cercanas al cuadrado, las cuadradas no siempre deben utilizarse en los sistemas bidireccionales. Por ejemplo, una disposición lineal de una retícula cuadrada permite la continuidad en una única dirección y descarta la ventaja estructural de los sistemas bidireccionales; en este caso, el uso de un sistema unidireccional puede ser más efectivo que uno bidireccional. Cuando la retícula cuadrada supera los 18 metros, son preferibles más sistemas unidireccionales y menos bidireccionales.

- Un espacio cuadrado aislado puede cubrirse con forjados unidireccionales o bidireccionales.

- La disposición lineal de una serie de espacios cuadrados permite la continuidad en una sola dirección, descartando la ventaja estructural de los forjados bidireccionales y sugiriendo que un sistema unidireccional puede resultar más eficaz.

- El carácter bidireccional de una retícula cuadrada puede modificarse por la naturaleza de los sistemas de apoyo y de forjado. Los muros de carga —y, en menor medida, los pórticos— pueden enfatizar un eje sobre el otro y sugerir el uso de un forjado unidireccional.



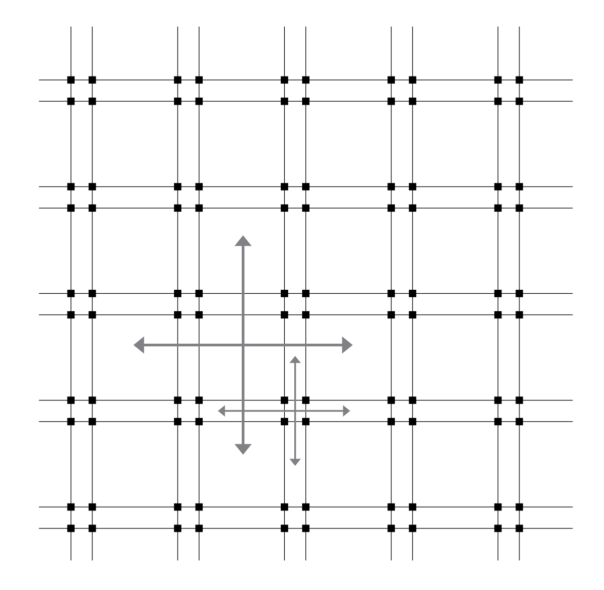
Retículas rectangulares
El módulo de una retícula rectangular tiende a fomentar el uso de forjados unidireccionales, especialmente cuando una de las dimensiones horizontales domina sobre la otra. La cuestión fundamental es cómo organizar los forjados. No siempre es fácil determinar en qué dirección deberían disponerse los forjados. A menudo puede resultar mejor, desde el punto de vista de la eficiencia estructural, reducir la luz que salvan los forjados, apoyándolos en grandes vigas o jácenas que cubran las luces mayores de módulo rectangular, con elementos repetitivos que soporten una carga uniformemente distribuida.

- Las jácenas son vigas primarias que soportan una o más vigas secundarias.
- Las viguetas son vigas secundarias que apoyan sobre jácenas o vigas primarias.
- Un sistema de forjados unidireccionales puede cubrir el espacio rectangular de dos formas. A menudo puede ser preferible desde el punto de vista de la eficiencia estructural que las viguetas que reciben una carga uniforme cubran la luz mayor, mientras que las vigas o jácenas salven la menor.
- Un módulo rectangular puede interpretarse como un eje principal en su dimensión mayor y un eje secundario perpendicular. Sin embargo, cualquier direccionalidad se ve influida más por la naturaleza de los elementos verticales de soporte que por las proporciones concretas del módulo.

Retículas de tartán

Tanto las retículas cuadradas como las rectangulares pueden modificarse de diversas formas para responder a necesidades del programa o a requisitos del lugar. Una de estas formas consiste en disponer dos retículas paralelas para producir una malla de soportes en tartán. Los espacios intermedios resultantes pueden servir de mediadores entre espacios mayores, definir recorridos o alojar instalaciones.

Aunque la retícula de tartán ilustrada aquí tiene una base cuadrada, también es posible plantearla sobre una base rectangular. En cualquier caso, la decisión de utilizar forjados unidireccionales o bidireccionales depende en las proporciones del módulo, tal como se comentó en la pág. 46.

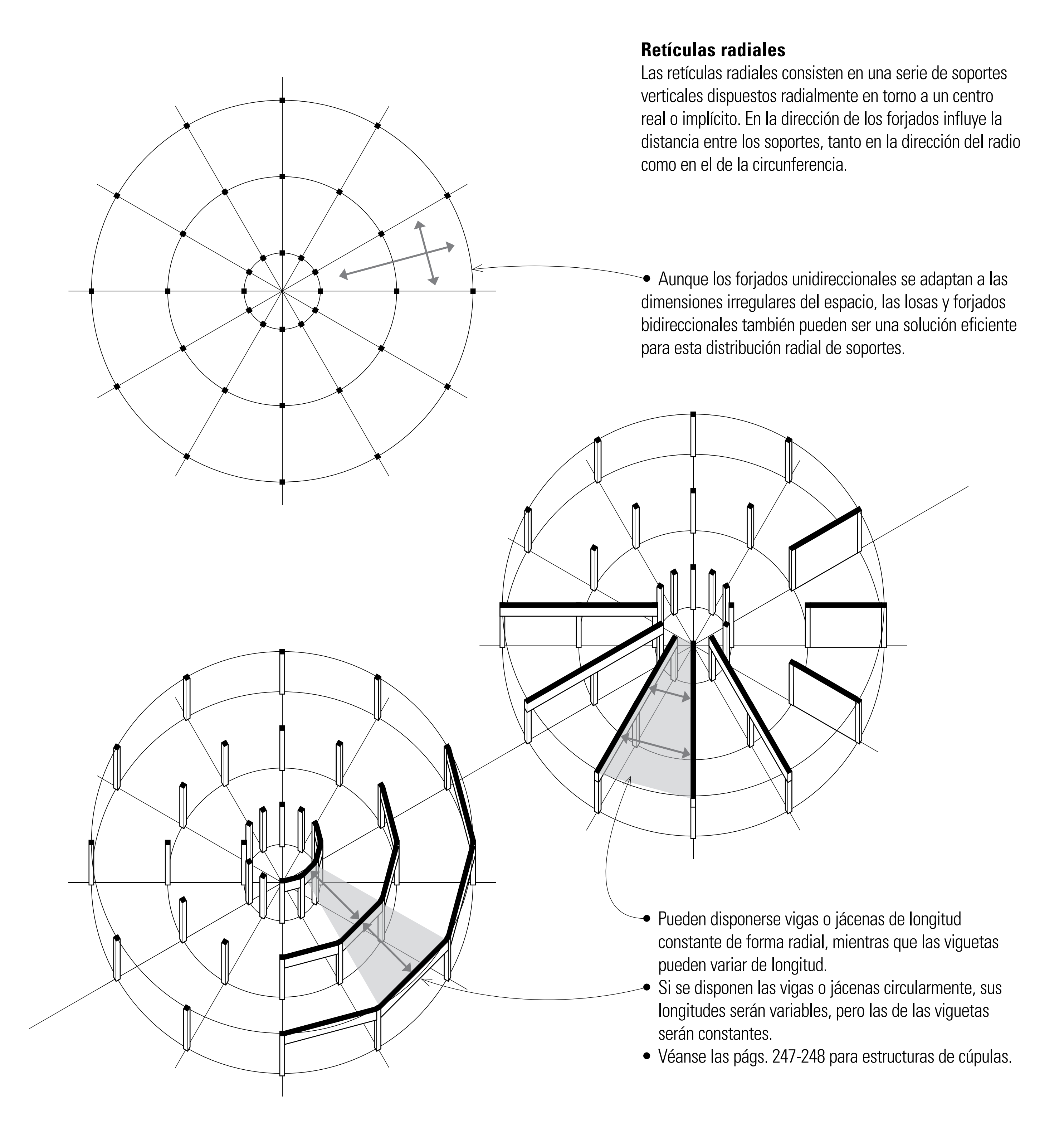


- Las agrupaciones de pilares pueden transformarse en un par de paneles paralelos con una fuerte direccionalidad, o en un gran soporte hueco.

- La retículas de tartán proporcionan múltiples puntos de apoyo tanto para vigas y jácenas como para viguetas.

Retículas radiales

Las retículas radiales consisten en una serie de soportes verticales dispuestos radialmente en torno a un centro real o implícito. En la dirección de los forjados influye la distancia entre los soportes, tanto en la dirección del radio como en el de la circunferencia.



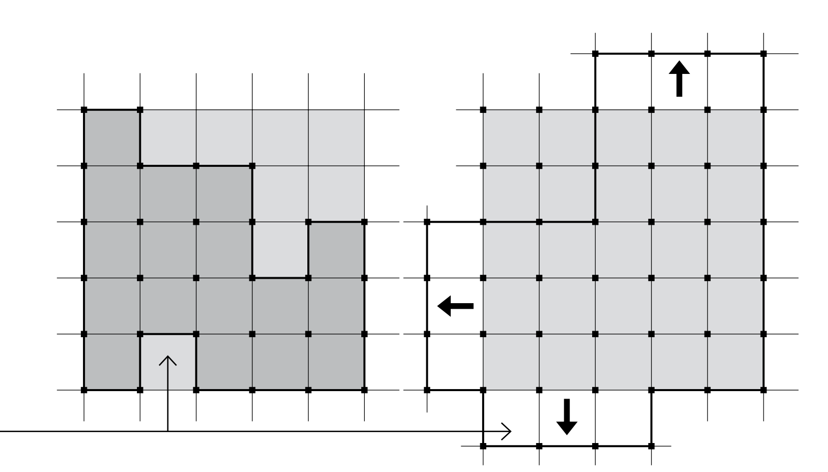
- Aunque los forjados unidireccionales se adaptan a las dimensiones irregulares del espacio, las losas y forjados bidireccionales también pueden ser una solución eficiente para esta distribución radial de soportes.

- Pueden disponerse vigas o jácenas de longitud constante de forma radial, mientras que las viguetas pueden variar de longitud.
- Si se disponen las vigas o jácenas circularmente, sus longitudes serán variables, pero las de las viguetas serán constantes.
- Véanse las págs. 247-248 para estructuras de cúpulas.

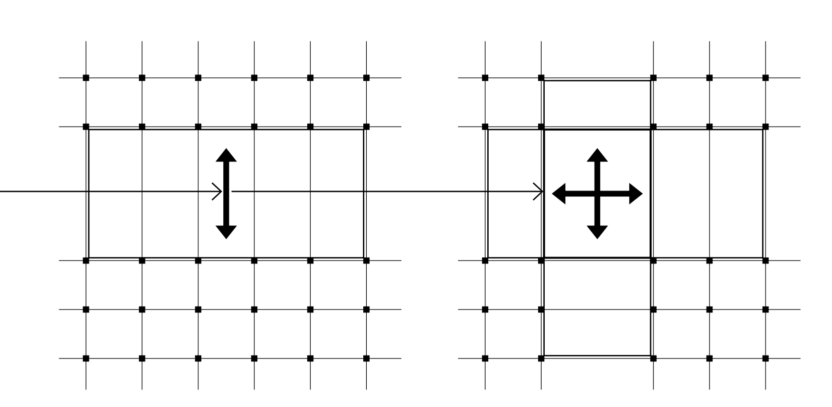
Modificación de retículas

Las retículas cuadradas, rectangulares y de tartán son todas ellas regulares, pues consisten en repeticiones regulares de elementos regidos por relaciones espaciales ortogonales. Tienen la capacidad de crecer de una forma predecible y, aunque falte uno o más elementos, el patrón del conjunto sigue siendo reconocible. Incluso las retículas radiales muestran relaciones recurrentes definidas por su geometría circular.

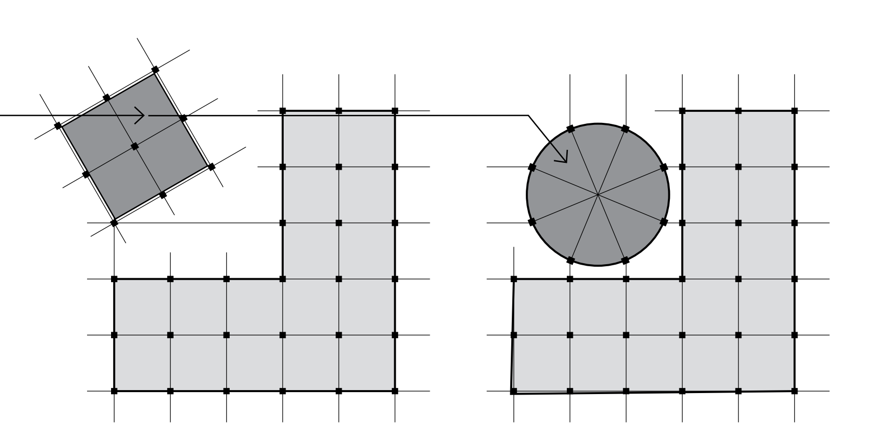
En el proyecto arquitectónico, las retículas son mecanismos de organización muy poderosos. Debería apuntarse, en todo caso, que las retículas regulares solo son esquemas generalizados que pueden modificarse y adaptarse en respuesta a requisitos del programa, del emplazamiento o de los materiales. El objetivo es diseñar una retícula que integre la forma, el espacio y la estructura en un conjunto cohesionado.



- **Modificación por adición o sustracción**
  Una retícula regular puede modificarse eliminando selectivamente algunas partes, o añadiendo módulos en una o más direcciones.



- **Modificación de escala o proporciones**
  Una retícula regular puede modificarse aumentando las luces en una o dos direcciones, creando una serie jerárquica de módulos diferenciados por su tamaño y su proporción.

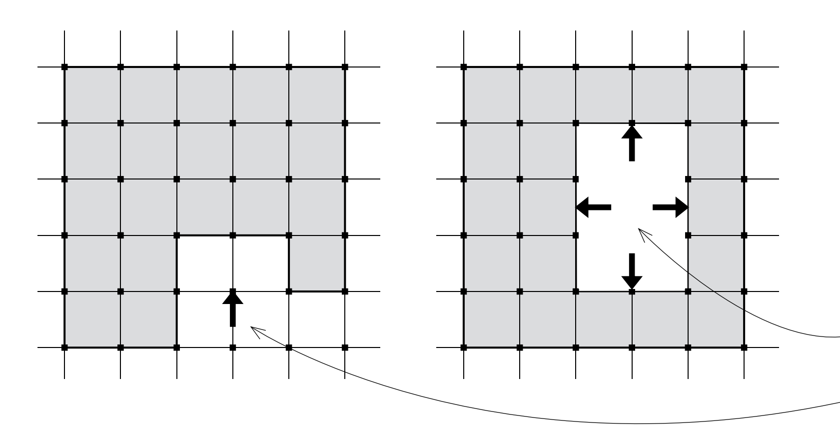


- **Modificación de la geometría**
  Una retícula regular puede modificarse mediante la incorporación a la composición de una nueva retícula con otra orientación o geometría.

Modificación por adición o sustracción

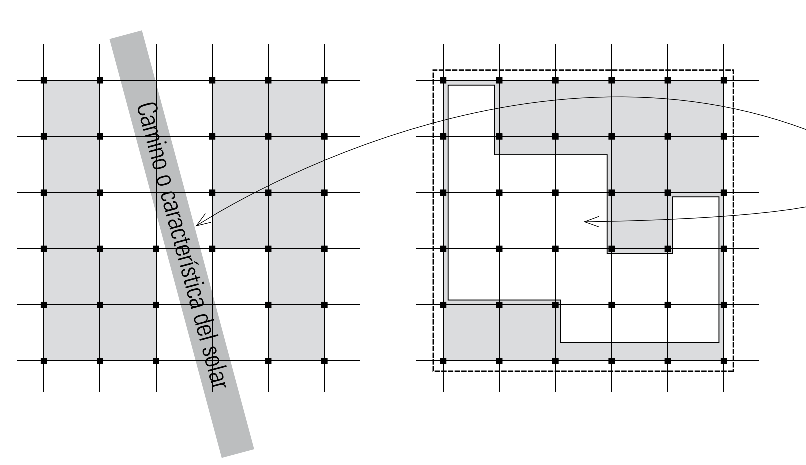
Las retículas regulares pueden extenderse horizontal o verticalmente para formar nuevas composiciones de formas y espacios. Estas composiciones aditivas pueden emplearse para expresar un crecimiento, establecer una secuencia lineal de espacios o para envolver una serie de espacios secundarios en una forma mayor o superior.

- Una serie lineal de unidades espaciales puede extenderse en dirección perpendicular para formar un campo plano de unidades espaciales, o en dirección vertical para formar composiciones planas o volumétricas.
- Siempre que sea posible, las modificaciones aditivas deberían producirse a lo largo de las líneas principales de soportes verticales y forjados horizontales.



Las modificaciones sustractivas son resultado de la eliminación selectiva de un fragmento de una retícula regular. Este proceso sustractivo puede utilizarse para crear:

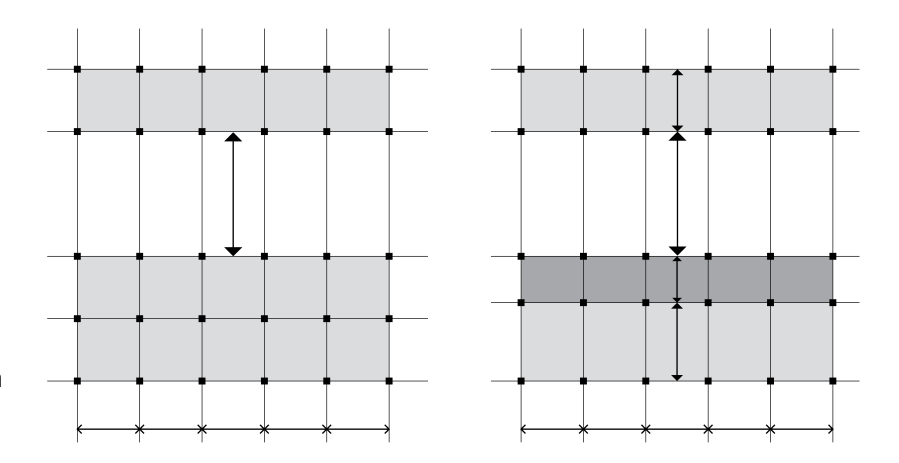
- Un espacio de mayores dimensiones que las establecidas por la retícula (un patio o un atrio), o
- Un acceso retranqueado.



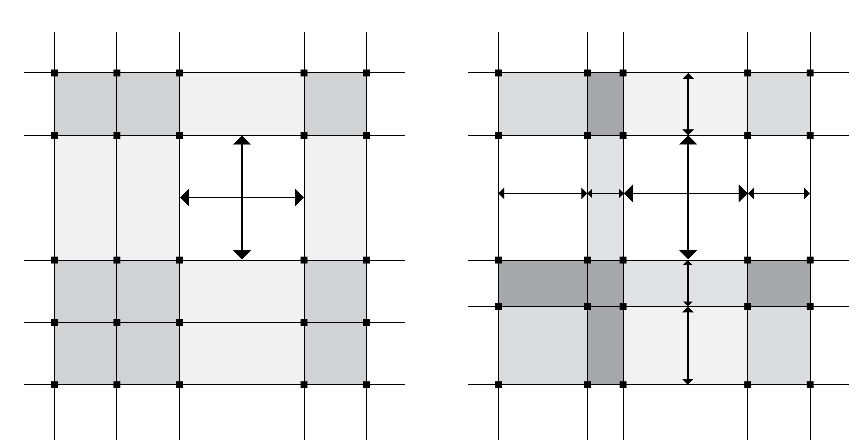
- Una parte de la retícula regular puede eliminarse para dejar espacio a un elemento singular del lugar.
- Para aplicar modificaciones sustractivas, la retícula regular debe ser lo bastante grande como para dar cabida al programa del edificio y para seguir siendo reconocible como un todo al que se le ha extraído una parte.

Modificación de las proporciones
Para acomodar espacios y funciones con unos requisitos dimensionales específicos, la retícula en una o en dos direcciones puede hacerse irregular para crear una serie jerarquizada de módulos, diferenciados por su tamaño, escala o proporción.

Cuando la retícula estructural es irregular en una sola dirección, las vigas o jácenas pueden salvar las luces mayores, mientras que las viguetas mantienen siempre la misma dimensión. Sin embargo, en algunos casos puede resultar más económico hacer que las vigas o jácenas mantengan sus dimensiones y que las viguetas modifiquen su longitud. En cualquier caso, las diferentes luces implicarán distintos cantos de forjado.



- Dimensiones desiguales en la retícula pueden ser el resultado de la búsqueda de una sección determinada o de variaciones lineales derivadas de los requisitos del programa.
- Dimensión constante de la retícula



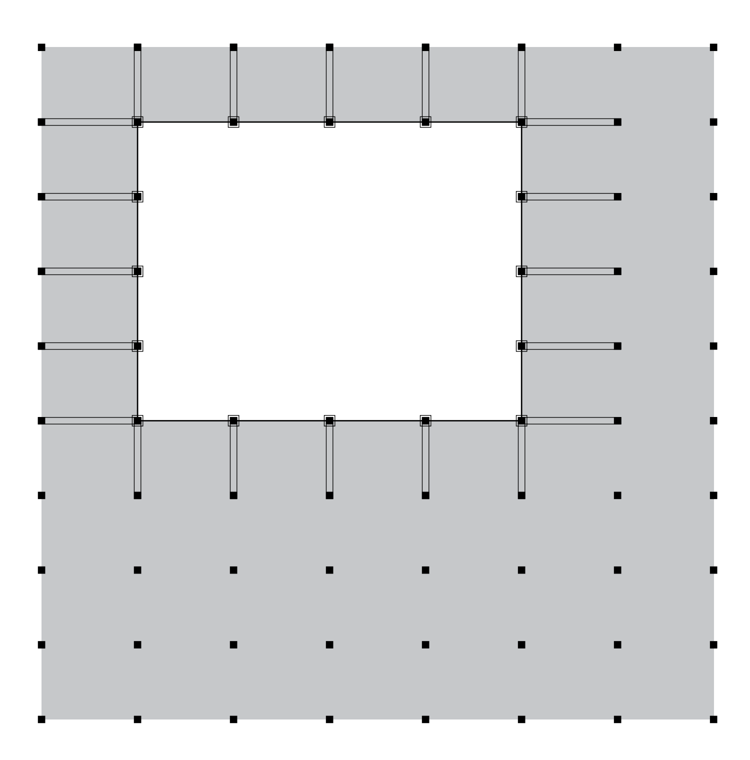
La retícula estructural puede ser irregular en ambas direcciones para ajustar de forma más precisa la estructura, el espacio y la función. En este caso, la dirección de los forjados variará junto a la proporción de los distintos espacios que es necesario cubrir. Puesto que estos espacios variarán sus proporciones, es importante tener en cuenta que las áreas de cada forjado y soporte también lo harán.

- Dimensión desigual de la retícula

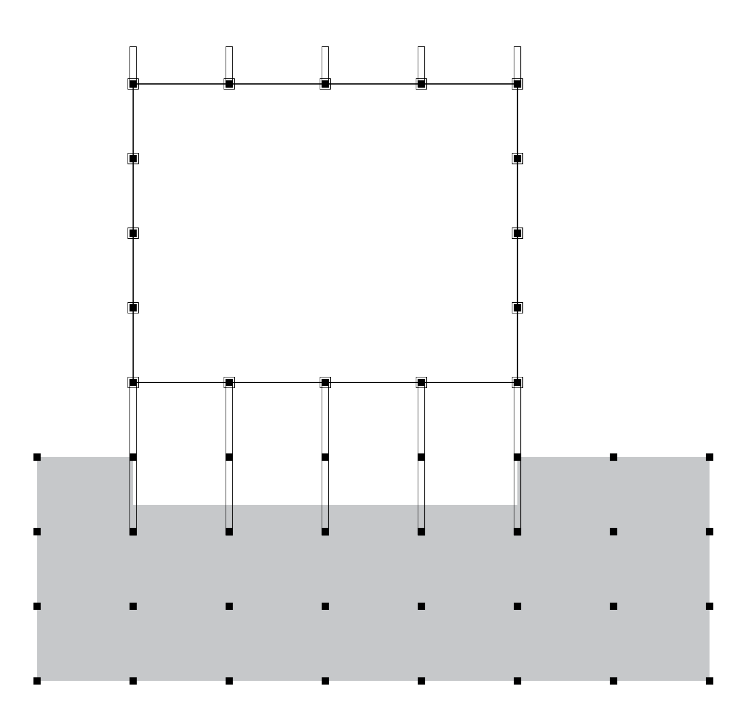
- Dimensión desigual de la retícula

Grandes espacios
Cuando abordamos espacios de escala mucho mayor que la habitual, como es el caso de auditorios y gimnasios, el ritmo normal de una retícula estructural puede quedar perturbada, y las mayores luces y las cargas resultantes (tanto verticales como laterales) sobre los soportes requerirán un análisis específico.

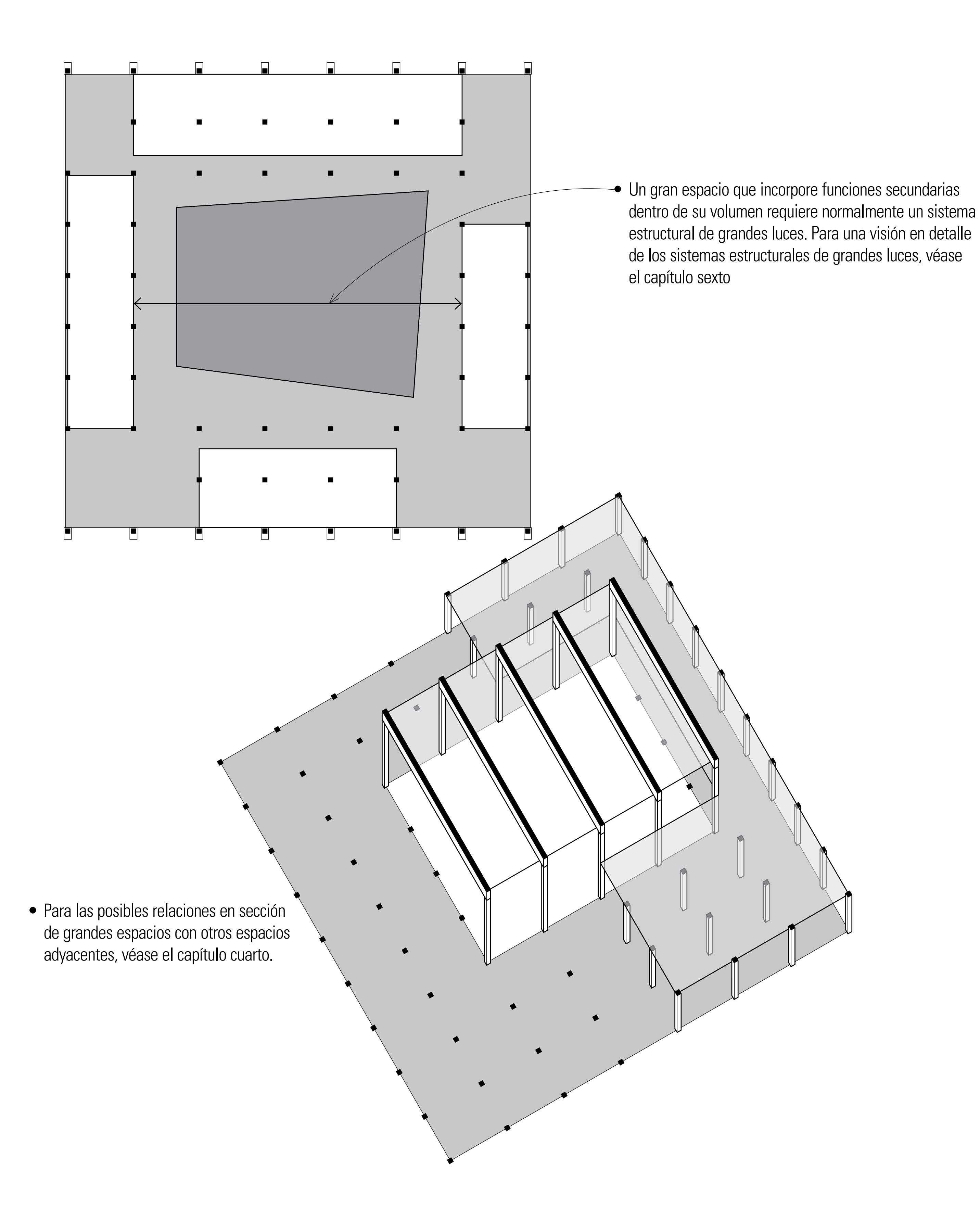
Estos espacios singulares pueden integrarse en la retícula estructural, quedar separados pero junto a la misma, o ser lo bastante grandes como para albergar funciones auxiliares en su volumen. En los dos primeros casos suele ser conveniente que las luces del espacio central sean un múltiplo del módulo de la retícula regular. De esta forma puede mantenerse la continuidad horizontal a lo largo de toda la estructura.



- Un espacio de grandes dimensiones puede integrarse dentro de una retícula y apoyarse en la estructura de los espacios circundantes. Si la retícula del espacio central no se alinea con la de los espacios circundantes, es preciso algún tipo de estructura que asuma la transición.



- Puede buscarse que el espacio de gran escala esté separado pero conectado a una estructura adyacente. Articular el espacio central de esta forma puede aliviar la dificultad de hacer convivir dos tipos distintos de sistema estructural o dos retículas no alienadas. En cualquier caso, para realizar la transición habría que recurrir a un tercer sistema estructural.



- Un gran espacio que incorpore funciones secundarias dentro de su volumen requiere normalmente un sistema estructural de grandes luces. Para una visión en detalle de los sistemas estructurales de grandes luces, véase el capítulo sexto

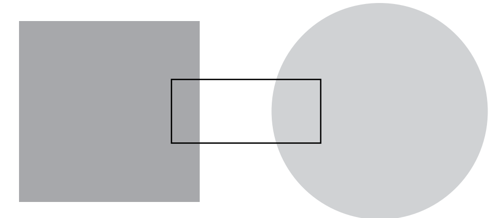
- Para las posibles relaciones en sección de grandes espacios con otros espacios adyacentes, véase el capítulo cuarto.

Contraste de geometrías

Una retícula regular puede encontrarse con otra de geometría completamente distinta para reflejar los distintos requisitos del espacio interior y la forma exterior, o para expresar la importancia de una forma o un espacio en su contexto. Siempre que esto ocurra, hay tres maneras de gestionar el contraste geométrico.

- Las dos geometrías pueden mantenerse separadas y conectadas mediante un tercer sistema estructural.
- Las dos geometrías pueden solaparse, una de ellas dominando a la otra o combinándose para formar una tercera.
- Una de las dos geometrías puede incorporar a la otra en su seno.

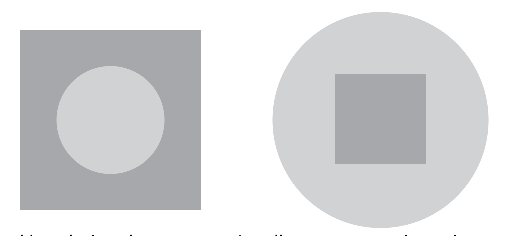
Si es lo bastante grande o diferenciado, el espacio intersticial o de transición formado por la intersección de dos geometrías dispares puede llegar a asumir significado o importancia por sí mismo.



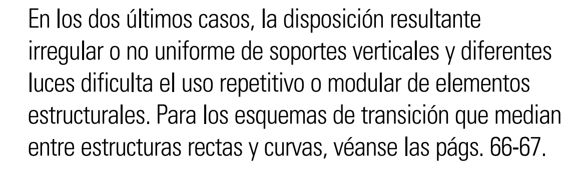
Geometrías dispares separadas pero conectadas por una tercera estructura.



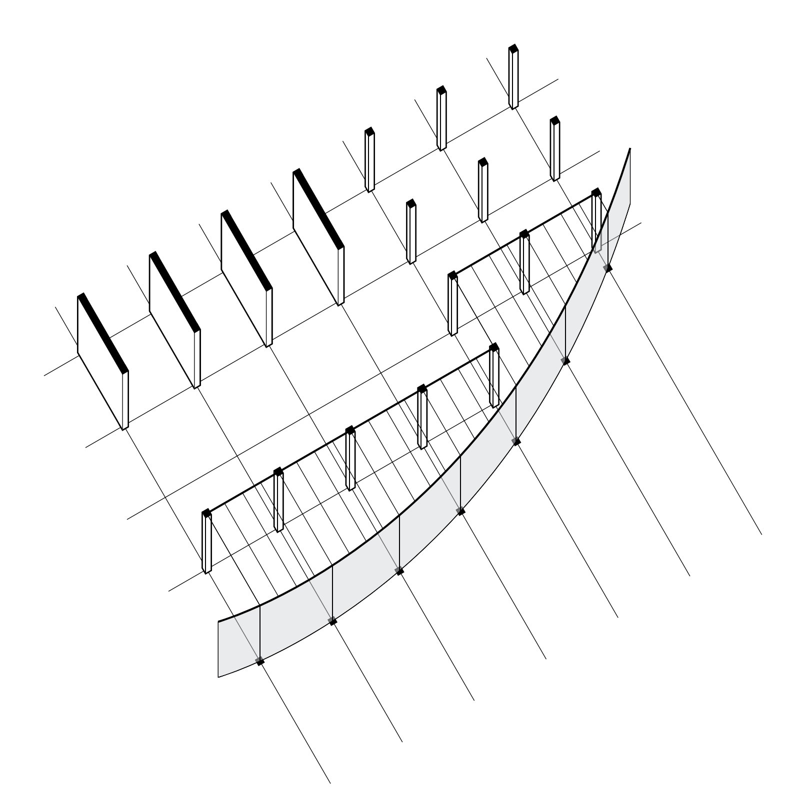
Geometrías dispares intersectadas o solapadas.

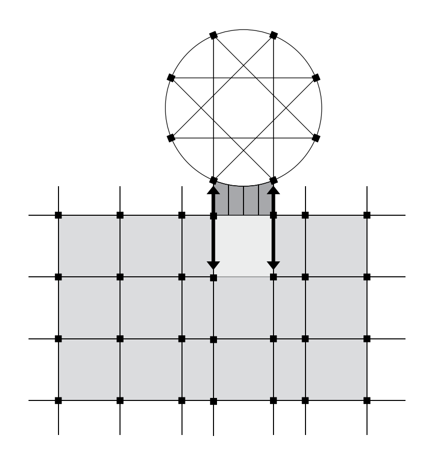


Una de las dos geometrías dispares envuelve a la otra.



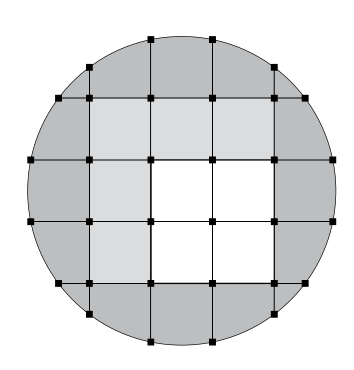
En los dos últimos casos, la disposición resultante irregular o no uniforme de soportes verticales y diferentes luces dificulta el uso repetitivo o modular de elementos estructurales. Para los esquemas de transición que median entre estructuras rectas y curvas, véanse las págs. 66-67.



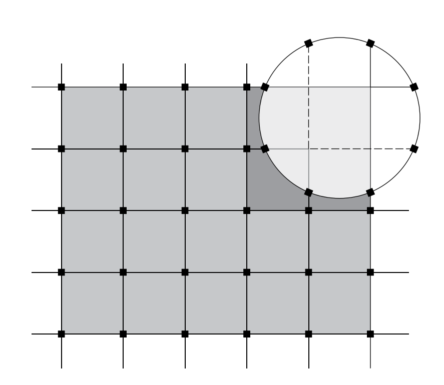




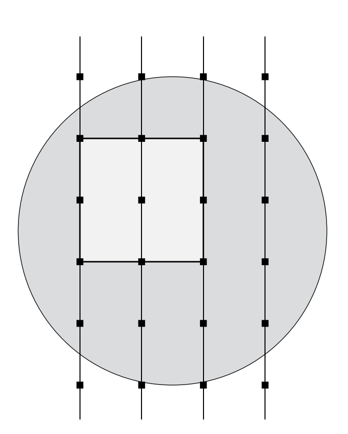
• Geometrías dispares separadas pero conectadas



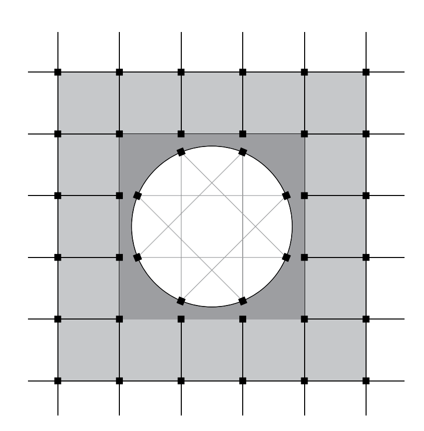
• Geometría rectangular dentro de una circular



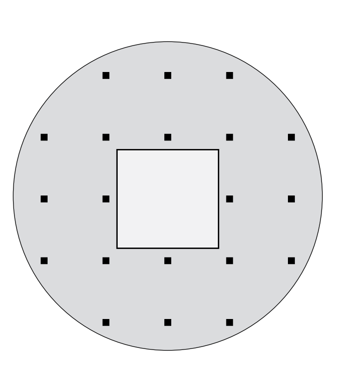
• Geometrías solapadas



• Geometría rectangular dentro de una circular



• Geometría circular integrada dentro de una rectangular

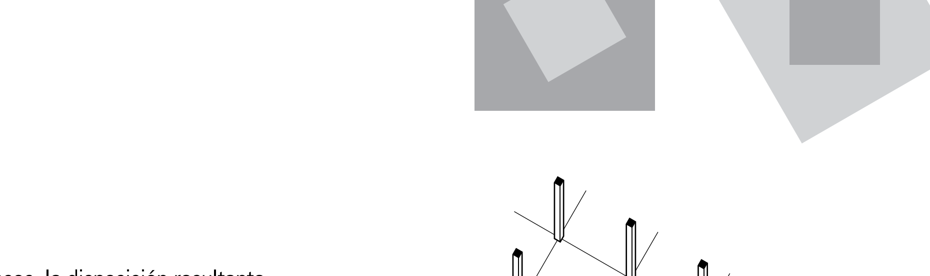


• Geometría rectangular integrada dentro de una circular

Contraste de orientaciones

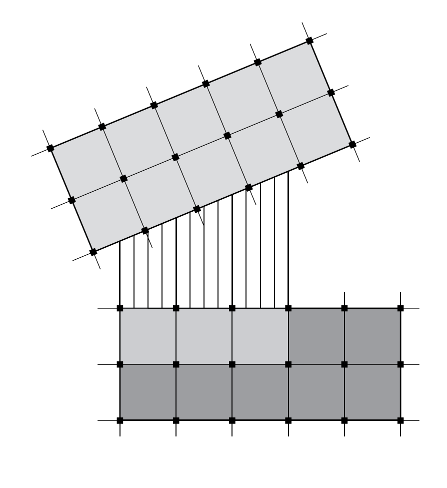
Al igual que pueden contrastarse las geometrías de dos retículas estructurales, también pueden darse orientaciones diferentes para dar respuesta a características singulares del lugar, acomodar un determinado esquema de recorridos o expresar el contraste de formas o funciones dentro de una única composición. Como en el caso del contraste de geometrías, existen tres maneras de resolver el encuentro de dos retículas de distinta orientación en una única estructura.

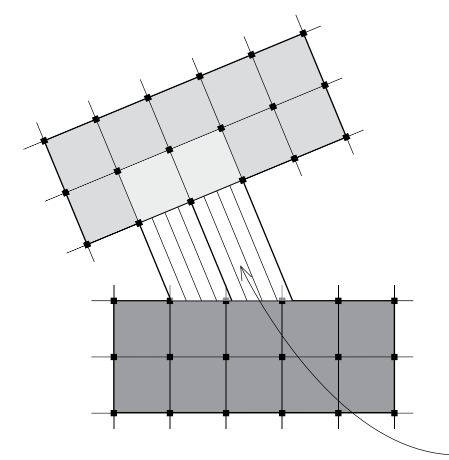
- Las dos retículas pueden mantenerse separadas y conectadas por un tercer sistema estructural.
- Las dos retículas pueden solaparse, una dominando a la otra o combinándose para formar una tercera.
- Una de las dos retículas puede incorporar a la otra en su seno.



Si es lo bastante grande o diferenciado, el espacio intersticial o de transición formado por la intersección de dos geometrías con distintas orientaciones puede llegar a asumir significado o importancia por sí mismo.

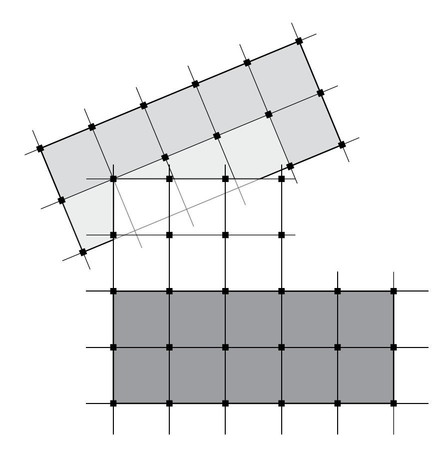
En los dos últimos casos, la disposición resultante, irregular o no uniforme, de los soportes verticales y de las correspondientes luces puede dificultar la utilización de elementos estructurales repetitivos o modulares. Véanse las págs. 66-67 sobre esquemas de transición para mediar entre retículas de orientaciones distintas.

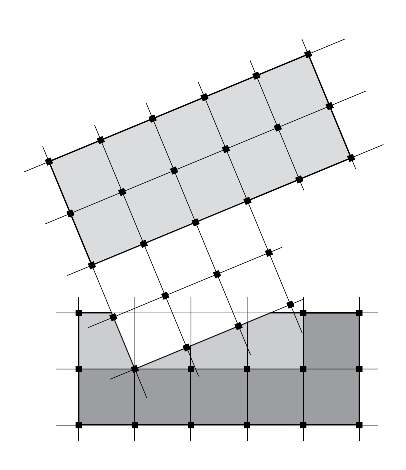




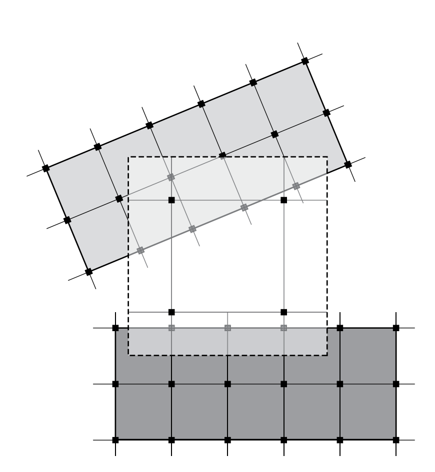
El elemento de transición entre dos orientaciones geométricas puede reflejar alguna de ellas o ninguna. Si el espacio de conexión se adapta a una de ellas, se tenderá a enfatizar la otra orientación.

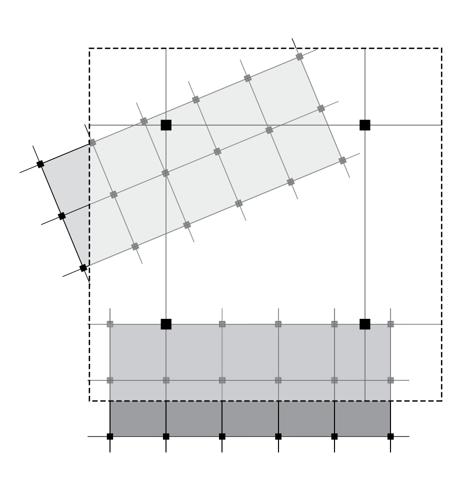
- Orientaciones dispares pueden hacer que el forjado del espacio de transición tenga características singulares.





Cuando dos retículas de orientación diferente se solapan, una tiende a dominar sobre la otra. La ascendencia de una retícula puede enfatizarse más aún mediante un cambio en la escala vertical. El mayor énfasis estructural y arquitectónico se localiza en los espacios excepcionales donde pueden experimentarse ambas geometrías.



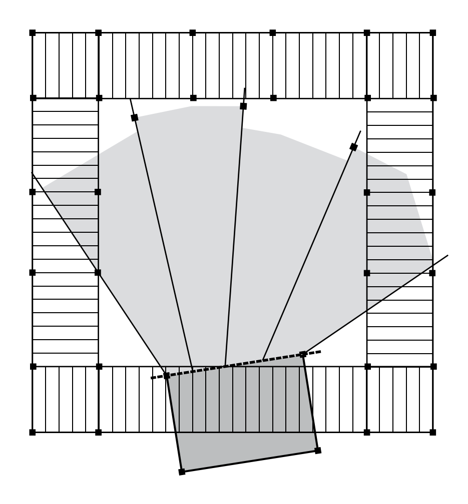


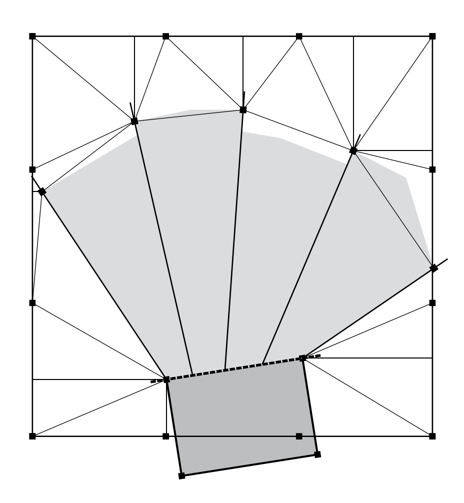
Otra manera de tratar las orientaciones diferentes consiste en unificar ambas partes incorporándolas dentro de una tercera forma estructural dominante. Como los ejemplos de arriba, se enfatiza la condición excepcional donde se yuxtaponen dos sistemas estructurales diferentes.

Espacios irregulares
A menudo las ideas de proyecto no se generan a partir de un esquema de soportes y elementos estructurales, sino desde la ordenación buscada de los espacios funcionales y las cualidades formales de la composición. En el programa típico de un edificio suelen requerirse varios tipos de espacios. En la organización del edificio pueden necesitarse espacios singulares y únicos en su función o significado; otros pueden ser flexibles en su función y fácilmente modificados.



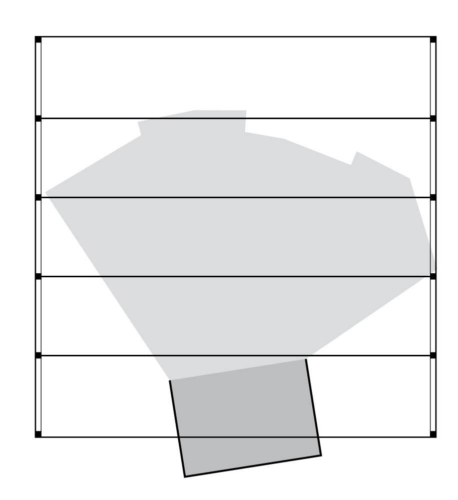
Los espacios diferenciados e irregulares pueden encontrarse enmarcados por la estructura para conformar y reforzar los requisitos funcionales del volumen.





Esto suele implicar un trabajo constante de ajuste del concepto estructural y los requisitos funcionales del espacio, buscando un vínculo adecuado entre la estrategia estructural y la visión de las cualidades formales, estéticas y funcionales del entorno espacial resultante.

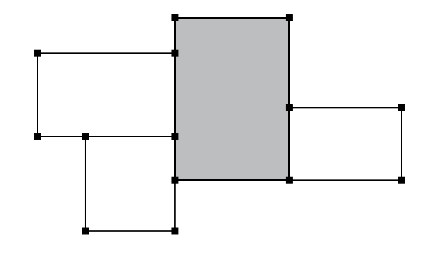
También puede pensarse un espacio diferenciado e irregular como una estructura independiente con sus propios sistema estructural y geométrico superpuestos al conjunto del edificio. Aunque resulta adecuada para responder a los requisitos espaciales de espacios como teatros, salas de conciertos y grandes galerías, esta estrategia requiere normalmente sistemas estructurales de grandes luces. Para una discusión en detalle de las estructuras de grandes luces, véase el capítulo 6.

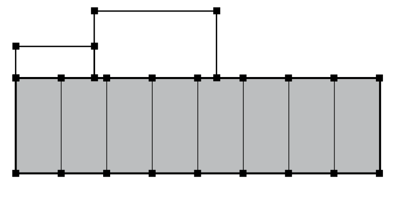


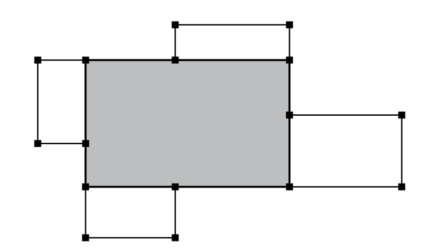
Formas irregulares
Las formas irregulares en planta suelen ser resultado de acomodar una diversidad de tamaños y relaciones funcionales de forma aditiva. Para desarrollar una estrategia estructural en edificios de forma irregular, debería entenderse espacialmente cómo podría dividirse la forma global en unidades estructurales y cómo podrían reflejar los volúmenes espaciales la jerarquía espacial planteada por el proyectista.

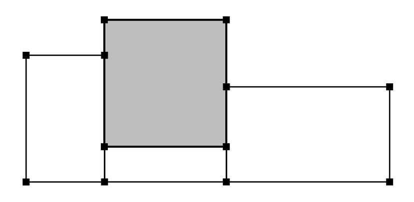


Estos diagramas ilustran cómo una misma forma en planta puede recibir diversas interpretaciones espaciales basadas en la configuración de los elementos de la estructura. A menudo las diversas configuraciones pueden sugerir formas totalmente diferentes.

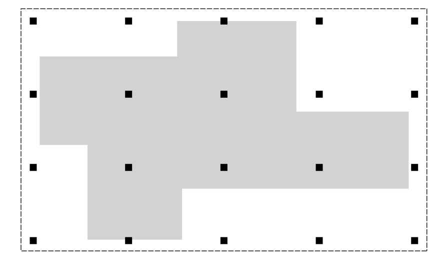


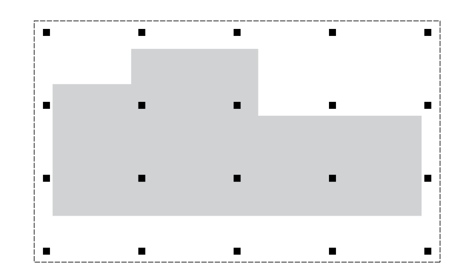






Cuando se impone un sistema estructural regular sobre una planta irregular, lo más probable es que se pierda la correspondencia entre las unidades estructurales y los espacios, lo cual tiende a mitigar o eliminar la expresividad y la jerarquía de los espacios individuales.

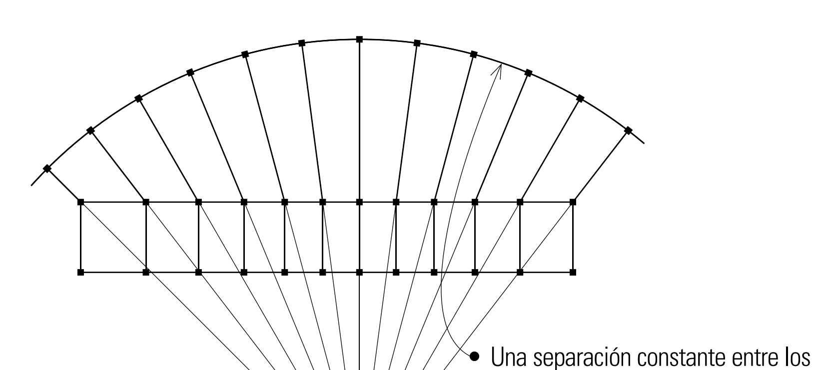




Formas irregulares

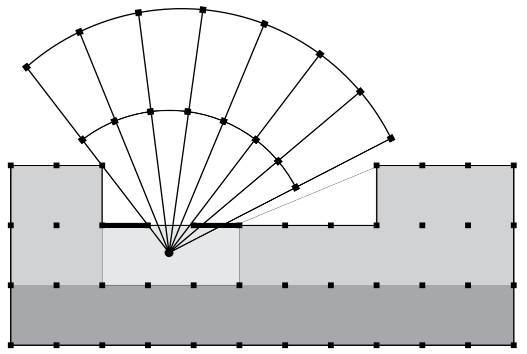
Es recomendable intentar reconocer la geometría inherente presente en las plantas irregulares a la hora de intentar desarrollar una estrategia para su sistema estructural. Incluso las plantas más irregulares pueden diseccionarse en partes que pueden interpretarse como transformaciones de formas geométricas regulares.

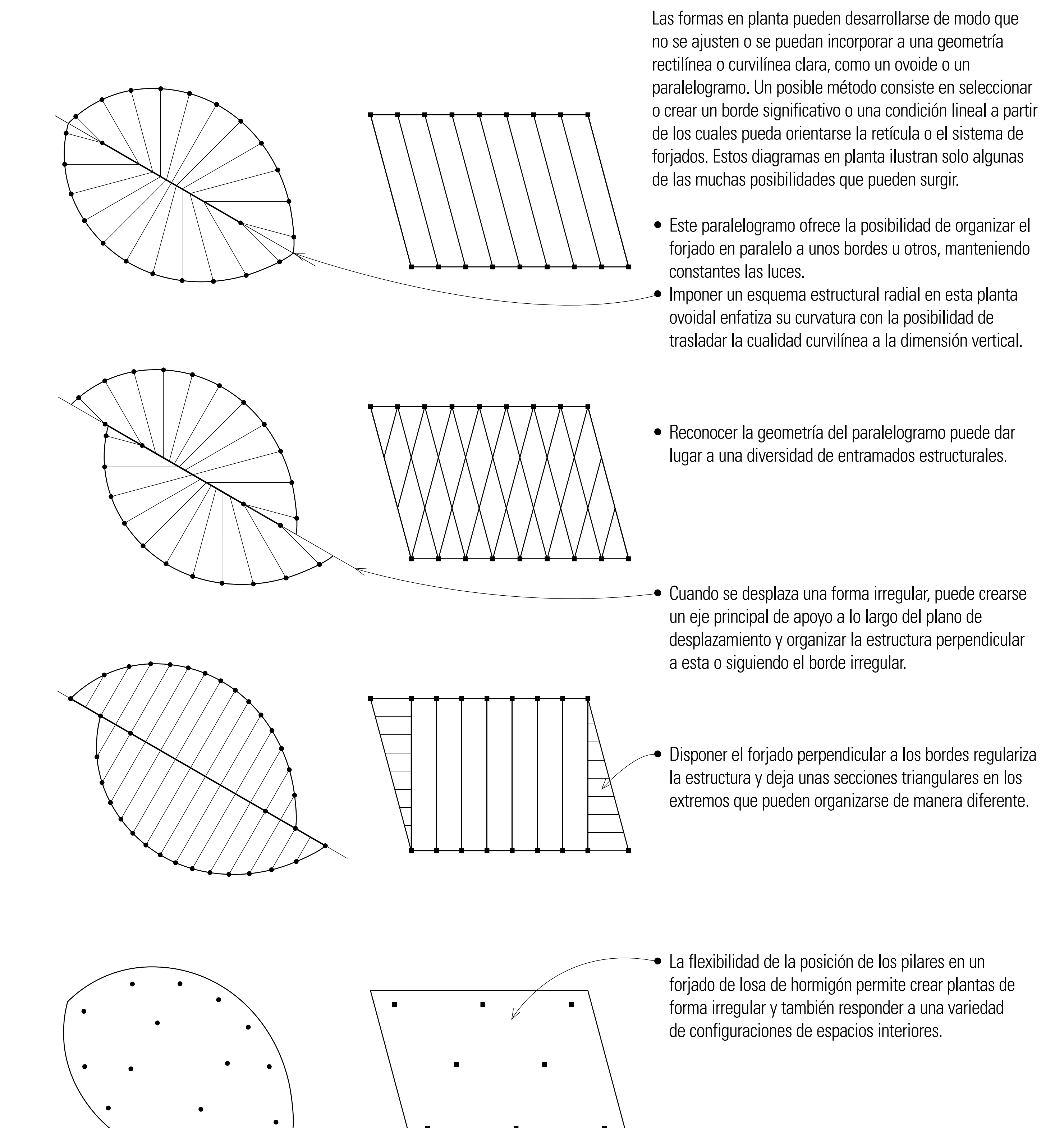
La manera de construir una forma irregular sugerirá a menudo opciones estratégicas para organizar la estructura. Esto puede ser tan simple como utilizar el centro de un arco para establecer un sistema radial u organizar los pórticos en paralelo o en perpendicular a un muro o plano significativo dentro de la geometría irregular. Puede utilizarse el radio o el centro de un arco, un punto tangente al arco, o en el caso de curvaturas dobles, el punto de inflexión donde se produce el cambio de curvatura. El enfoque que se plantee dependerá de la intención del proyectista y de cómo puede verse reforzada por la estrategia estructural.



Aunque los sistemas estructurales normalmente se desarrollan en planta, también debería tomarse en consideración el efecto de la estructura en vertical, en sus alzados y en la escala de los espacios interiores. Si, por ejemplo, la posición de los pilares queda reflejada en la fachada, debería tenerse en cuenta el efecto visible de una separación constante en un muro exterior curvo.

Parte del desafío de organizar la estructura de plantas irregulares reside en minimizar la ineficiencia estructural que a menudo resulta de las inevitables variaciones de las luces.





Las formas en planta pueden desarrollarse de modo que no se ajusten o se puedan incorporar a una geometría rectilínea o curvilínea clara, como un ovoide o un paralelogramo. Un posible método consiste en seleccionar o crear un borde significativo o una condición lineal a partir de los cuales pueda orientarse la retícula o el sistema de forjados. Estos diagramas en planta ilustran solo algunas de las muchas posibilidades que pueden surgir.

- Este paralelogramo ofrece la posibilidad de organizar el forjado en paralelo a unos bordes u otros, manteniendo constantes las luces.
- Imponer un esquema estructural radial en esta planta ovoidal enfatiza su curvatura con la posibilidad de trasladar la cualidad curvilínea a la dimensión vertical.

- Reconocer la geometría del paralelogramo puede dar lugar a una diversidad de entramados estructurales.

- Cuando se desplaza una forma irregular, puede crearse un eje principal de apoyo a lo largo del plano de desplazamiento y organizar la estructura perpendicular a esta o siguiendo el borde irregular.

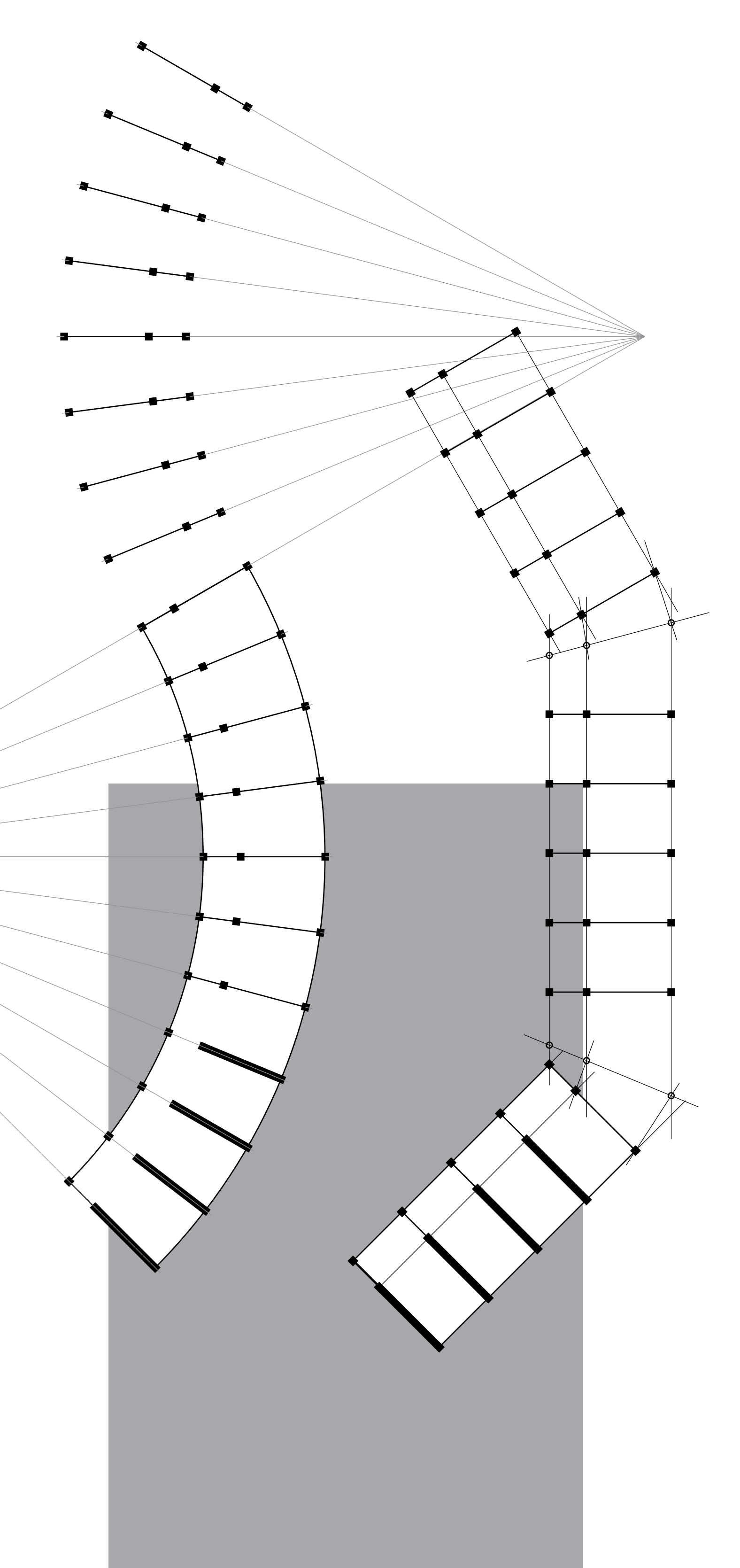
- Disponer el forjado perpendicular a los bordes regulariza la estructura y deja unas secciones triangulares en los extremos que pueden organizarse de manera diferente.

- La flexibilidad de la posición de los pilares en un forjado de losa de hormigón permite crear plantas de forma irregular y también responder a una variedad de configuraciones de espacios interiores.

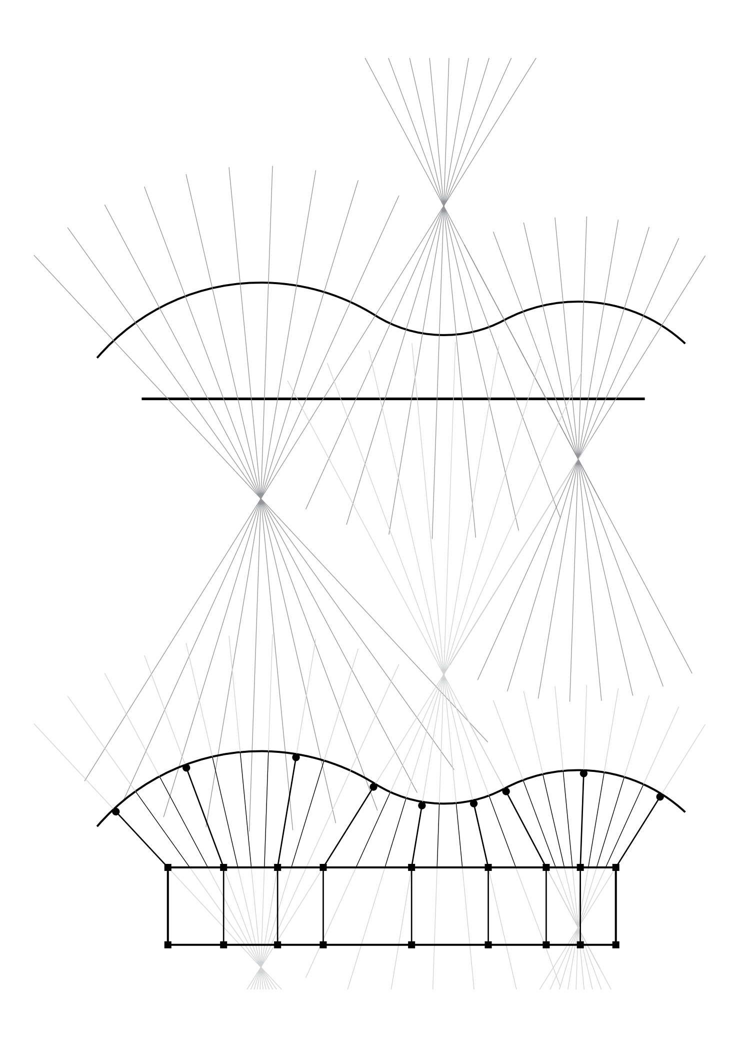
Irregularidades de borde

Los edificios pueden adoptar una forma que responda a la configuración de su emplazamiento, las posibilidades de aprovechar las vistas y crear miradores, los bordes definidos por las calles o el frente de fachada, o por el deseo de preservar características singulares de la topografía. Cualquiera de estos condicionantes puede producir una geometría irregular que debe racionalizarse en relación con el programa funcional y el sistema estructural elegido para albergarlo.

Una estrategia consiste en reducir la edificación a formas ortogonales de distintas orientaciones. Esto normalmente dará como resultado una serie de situaciones excepcionales en las intersecciones de las distintas partes ortogonales, a las cuales habrá que dar solución. Véanse págs. 62-63.



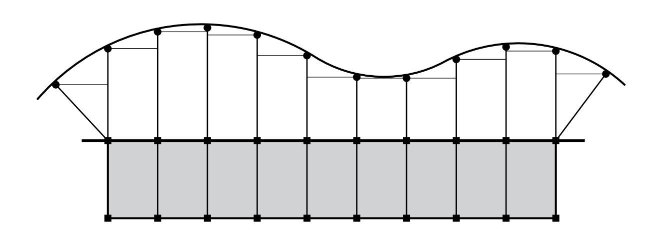
Otro método consiste en adaptar una serie de unidades espaciales o elementos formales equivalentes a un borde irregular mediante la transformación de una matriz lineal que siga dicha irregularidad. Esta puede regularizarse visualizándola como una serie de curvaturas e identificando los centros de cada segmento de arco, así como los puntos de inflexión donde se producen los cambios de curvatura.



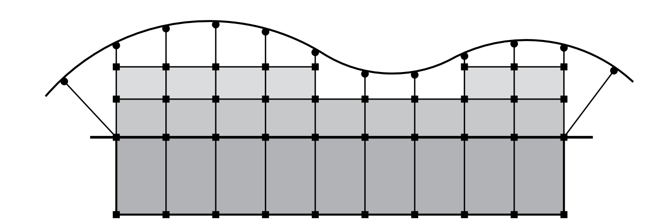
Una dualidad clásica del diseño arquitectónico reside en la oposición entre líneas rectas y curvas (véanse págs. 66-67). Lo que aquí se presenta son enfoques adicionales para resolver la tensión entre una superficie curva y la geometría rectilínea de una retícula estructural regular. Cada uno de ellos tiene implicaciones tanto en el diseño de la forma estructural como en la calidad de los espacios interiores.

Puede empezarse con la geometría generada por la superficie curva, lo cual puede sugerir un esquema que refuerce el carácter curvilíneo del borde del espacio generado. La naturaleza radial del esquema contrastará intensamente con la retícula ortogonal, lo cual puede reforzar la distinción entre las dos partes funcionales del edificio. El enfoque opuesto consistiría en extender las relaciones ortogonales de la retícula regular hasta la superficie curva.

- En este diagrama en planta, el esquema radial refuerza la naturaleza ondulada del espacio delimitado por la superficie curva, que se refleja en la separación irregular de los soportes en la parte rectangular de la estructura.



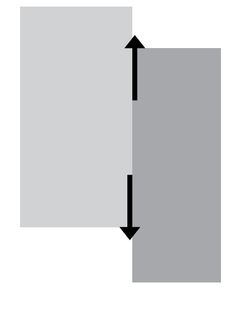
- Extender la estructura ortogonal hasta la superficie curvilínea crea una serie de espacios irregulares que median entre las partes rectas y curvas y unifican ambos bordes.

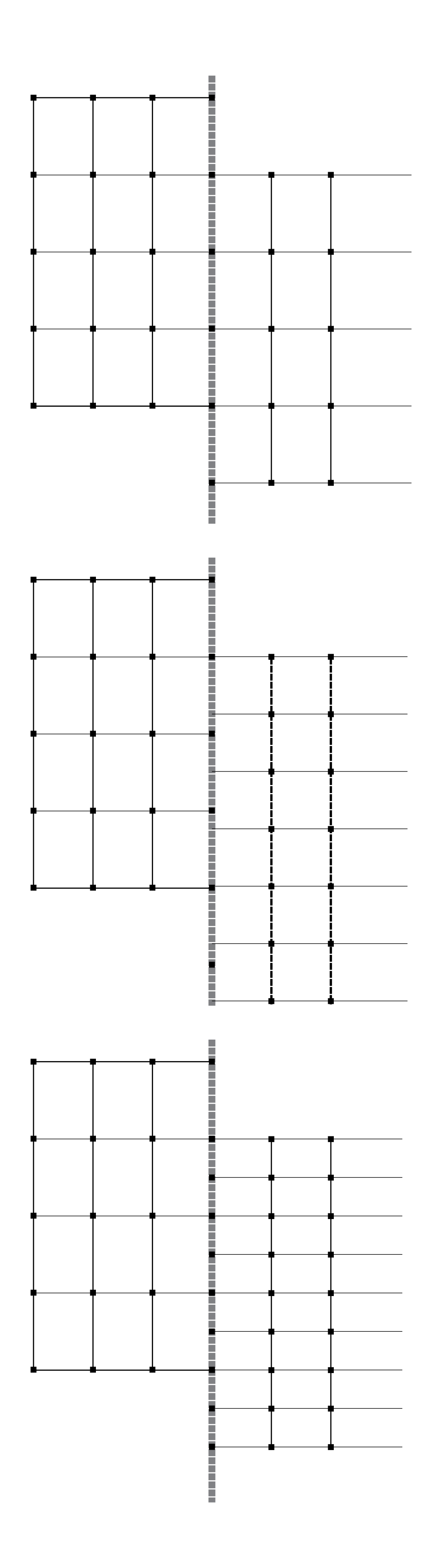


- Toda la estructura puede racionalizarse en una serie de módulos rectangulares espaciados regularmente en una dirección, pero con variaciones en la otra para responder a la curvatura deseada en un borde.

Retículas desplazadas

Dos partes de un edificio pueden ser contiguas, pero cada una de ellas puede responder a su propio programa funcional o a restricciones impuestas por el emplazamiento. Cada una de ellas puede requerir a su vez dos tipos distintos de esquema estructural a lo largo de la línea compartida de soportes. Cada una puede tener esquemas estructurales similares, pero una estar desplazada respecto de la otra. En estas situaciones, las diferencias entre cada una de las partes puede expresarse en la escala o el grano de los respectivos patrones estructurales.

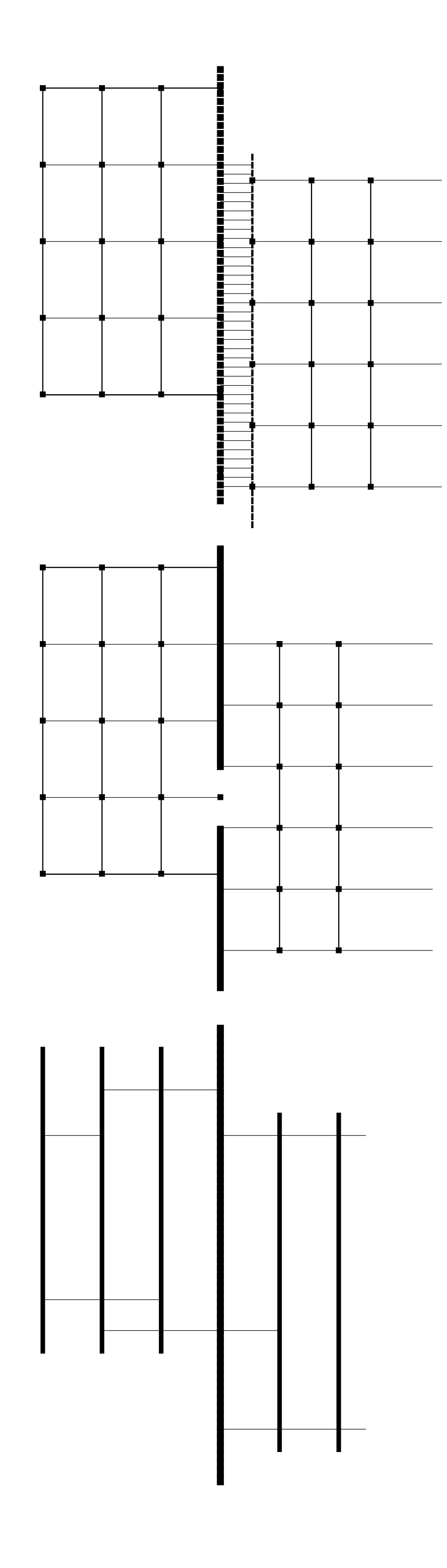




- Cuando la escala y el grano de dos retículas son similares, cualquier diferencia puede resolverse simplemente por la adición o sustracción selectiva de algún módulo. Si existe una estructura reticular establecida, este método enfatizará el plano en el cual se produce la dislocación o desplazamiento.

- Un desplazamiento de la retícula puede producirse junto a un cambio de la escala o el grano espacial. Esto puede lograrse utilizando una viga común a lo largo de la línea de desplazamiento. Puesto que las distancias entre soportes pueden variar en la línea de contacto, las posiciones de los pilares de apoyo de la viga pueden responder fácilmente a condicionantes locales.

- Dos patrones estructurales que difieren en escala y grano pueden encontrarse y alinearse más fácilmente si la retícula estructural mayor es algún múltiplo de la retícula menor.



- Si dos retículas primarias que difieren en escala, proporción o grano no pueden resolverse a lo largo de la línea compartida de soportes y vigas, es preciso introducir una tercera estructura para que medie entre ambas. Con una luz relativamente pequeña, esta estructura de conexión puede tener un grano más fino y ayudar a resolver las diferencias en los patrones de soportes de las dos retículas primarias.

- Si los espacios contiguos pueden tolerar el grado de separación impuesto por un muro de carga, este puede servir para unir dos retículas estructurales dispares. Un muro de carga divide el espacio en dos ámbitos claramente distintos. Cualquier penetración a través del muro puede asumir un significado adicional como portal o umbral entre ambos elementos.

- Un par de muros de carga define un ámbito espacial con una intensa cualidad direccional hacia sus extremos abiertos. Este tipo fundamental de esquema estructural a menudo se utiliza en proyectos que constan de unidades repetitivas, como las viviendas multifamiliares, ya que sirven simultáneamente para aislar las unidades entre sí, proporcionar aislamiento acústico y protección frente a incendios.
- Una serie de muros paralelos de carga puede organizar una serie de espacios lineales, donde la solidez de los muros asume la labor de acomodar los diversos grados, mayores o menores, de dislocación o desplazamiento.

Esquinas

Las esquinas definen el encuentro entre dos planos. Las verticales son significativas porque definen los bordes de las fachadas del edificio y, al mismo tiempo, cierran dos direcciones horizontales en planta. La esquina comporta diversas cuestiones constructivas y estructurales.
Una decisión basada en cualquiera de estos factores, inevitablemente influye en los otros dos. Por ejemplo, en una esquina los dos frentes de un forjado unidireccional son necesariamente distintos, lo cual puede tener un impacto en la relación y la expresión arquitectónica de las dos fachadas contiguas.

- Si dos planos se tocan y la esquina no tienen ningún tipo de chaflán, la presencia de la esquina dependerá del tratamiento visual de las dos superficies colindantes. Las esquinas sin achaflanar enfatizan el volumen.

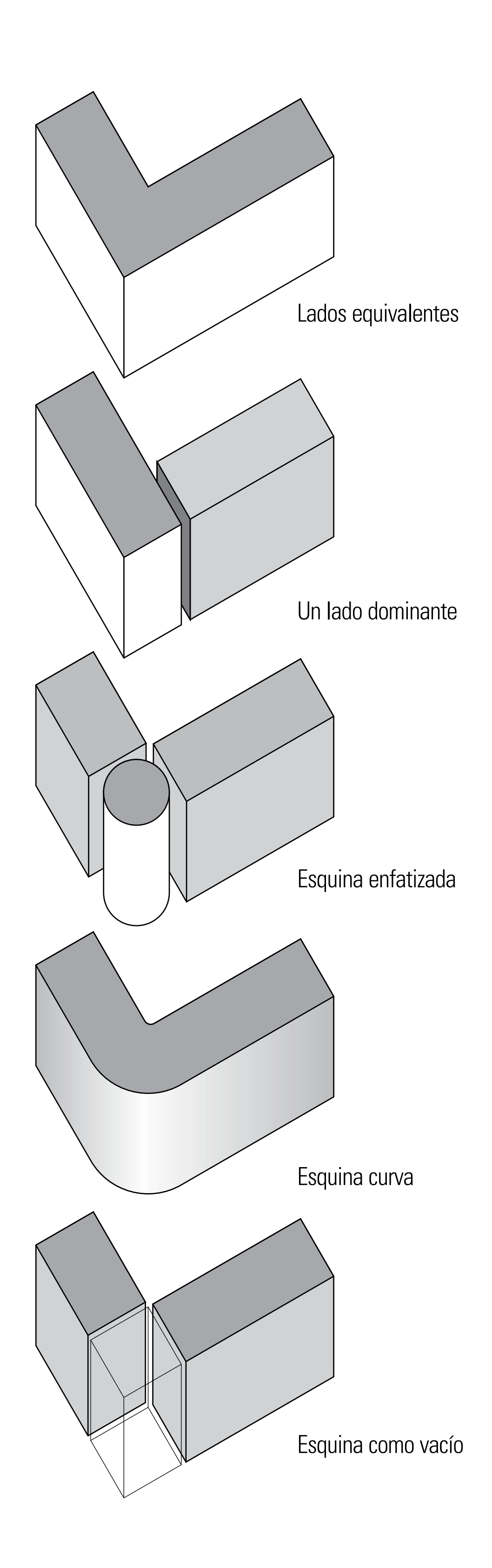
- Una forma o una de sus caras puede dominar la masa contigua si se hace continua y ocupa la posición de la esquina, estableciendo así un frente.

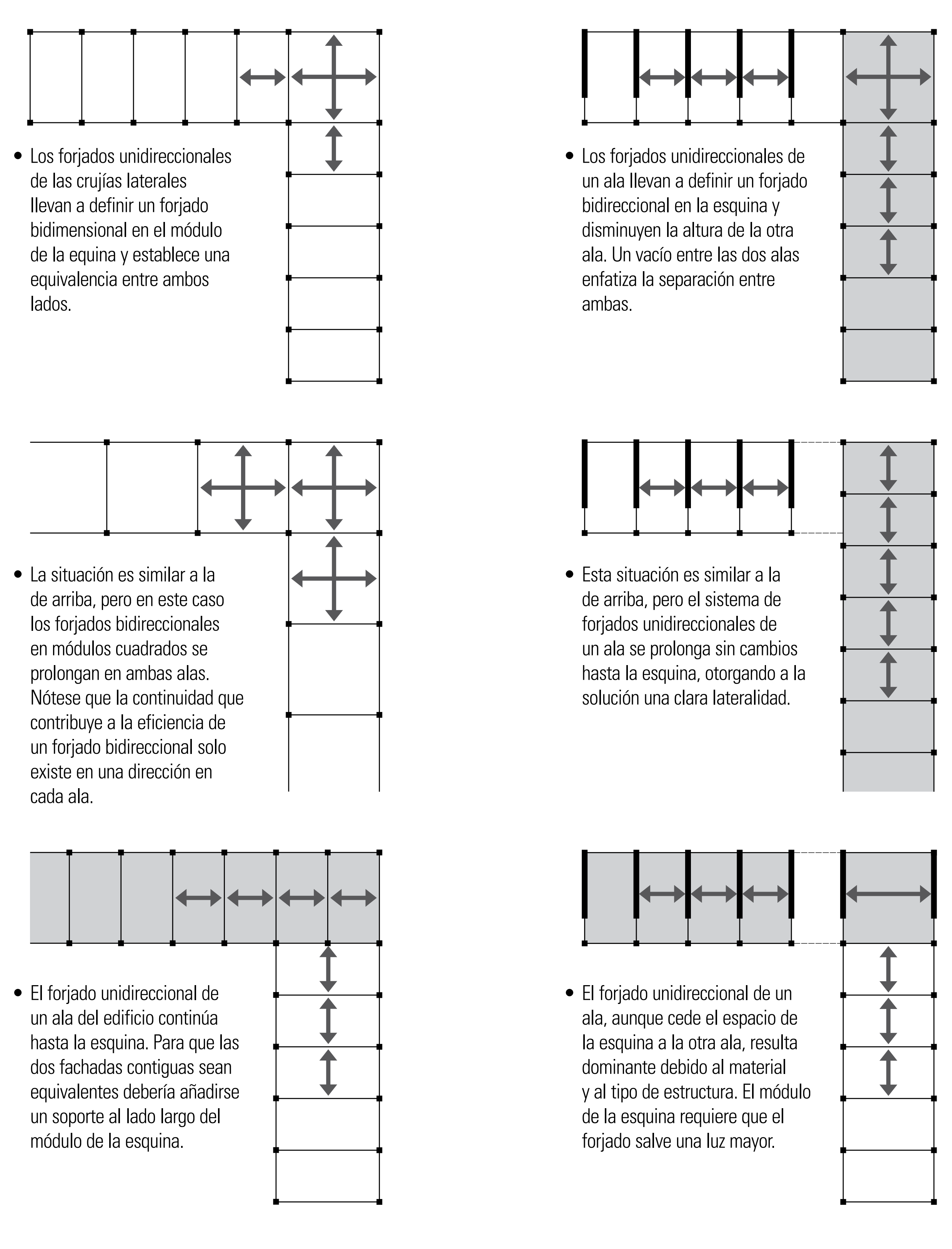
- Puede reforzarse visualmente el carácter de esquina introduciendo un elemento separado y diferenciado independiente de las superficies que conecta. Este elemento enfatiza la esquina como elemento lineal vertical que define los bordes de los dos planos contiguos.

- Redondear la esquina enfatiza la continuidad de la superficie que define la forma, la compacidad de su volumen y la suavidad de su contorno. El radio de curvatura es importante; si es demasiado pequeño, resulta visualmente insignificante; si es demasiado grande, afecta al espacio interior que encierra y a la forma exterior que describe.

- Un vacío disminuye la condición primaria de la esquina, en la práctica crea dos esquinas menores y clarifica la distinción entre dos formas o masas separadas.

Los diagramas de las siguientes tres páginas presentan soluciones alternativas para estructurar estos tipos de esquinas, cada una de ellas con su implicación arquitectónica.





- Los forjados unidireccionales de las crujías laterales llevan a definir un forjado bidimensional en el módulo de la equina y establece una equivalencia entre ambos lados.

- Los forjados unidireccionales de un ala llevan a definir un forjado bidireccional en la esquina y disminuyen la altura de la otra ala. Un vacío entre las dos alas enfatiza la separación entre ambas.

- La situación es similar a la de arriba, pero en este caso los forjados bidireccionales en módulos cuadrados se prolongan en ambas alas. Nótese que la continuidad que contribuye a la eficiencia de un forjado bidireccional solo existe en una dirección en cada ala.

- Esta situación es similar a la de arriba, pero el sistema de forjados unidireccionales de un ala se prolonga sin cambios hasta la esquina, otorgando a la solución una clara lateralidad.

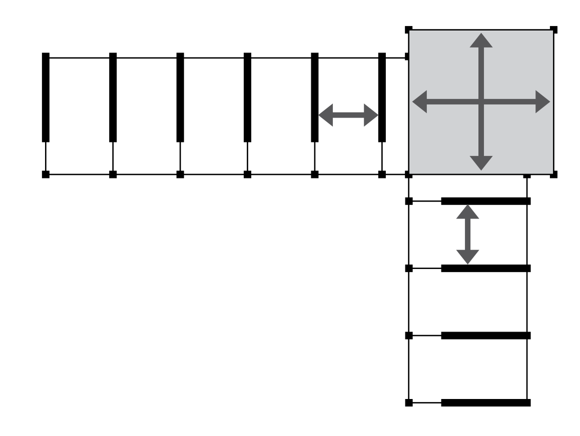
- El forjado unidireccional de un ala del edificio continúa hasta la esquina. Para que las dos fachadas contiguas sean equivalentes debería añadirse un soporte al lado largo del módulo de la esquina.

- El forjado unidireccional de un ala, aunque cede el espacio de la esquina a la otra ala, resulta dominante debido al material y al tipo de estructura. El módulo de la esquina requiere que el forjado salve una luz mayor.

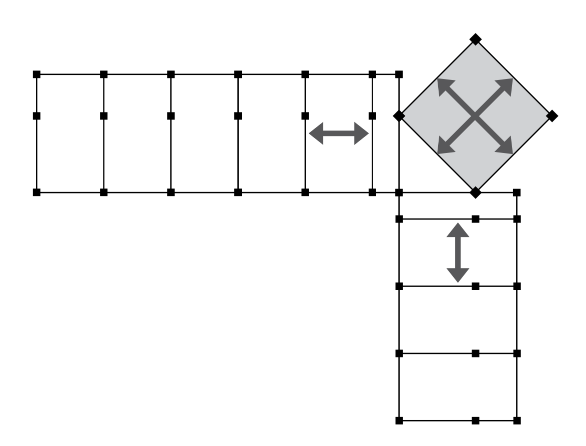
Lados equivalentes

Un lado dominante

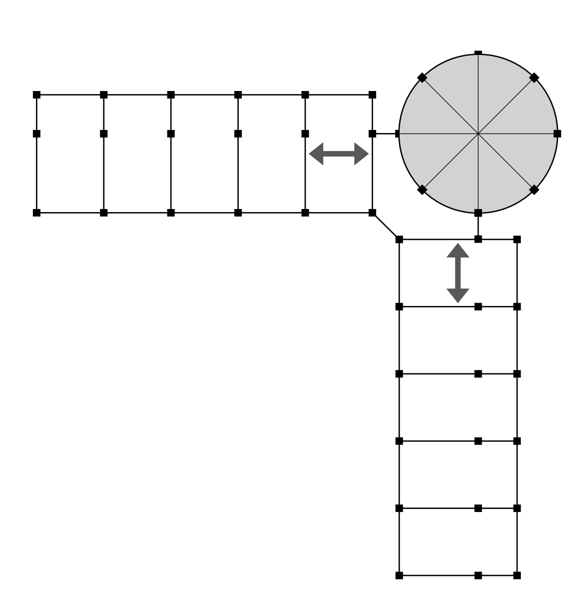
Las tres plantas de esta página ilustran cómo puede hacerse de la esquina un elemento especial o singular a través del tamaño significativo, la forma distintiva o la orientación diferente de un elemento de esquina.



- Se agranda el módulo cuadrado de la esquina para enfatizar su primacía sobre las alas que mantienen su propio forjado unidireccional. Se añaden dos soportes para facilitar la transición a los módulos de menor luz de las alas.

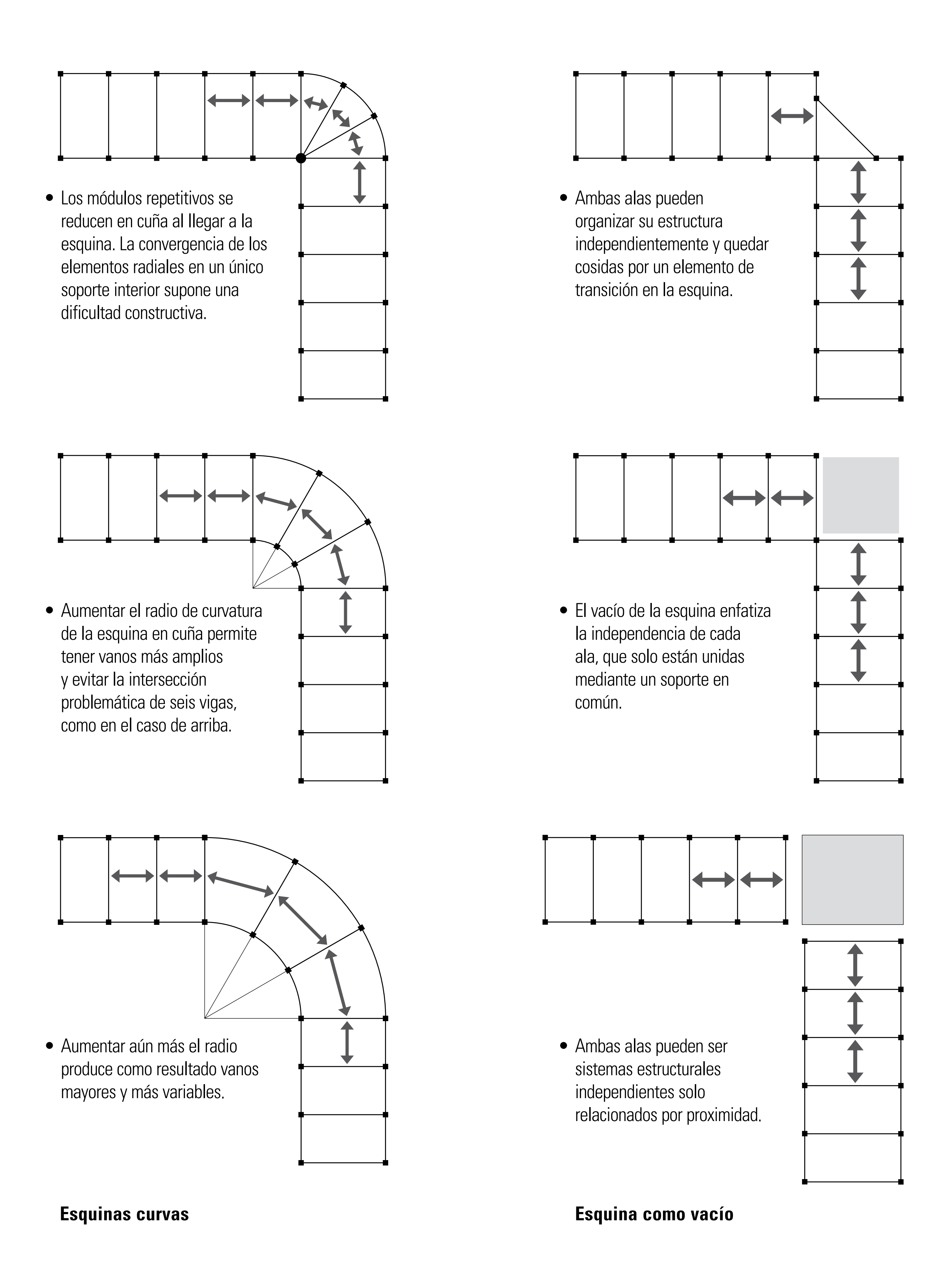


- Se gira el módulo de la esquina para enfatizar su situación, al tiempo que ambas alas mantienen su propio forjado unidireccional. Se añaden dos soportes para apoyar las esquinas del módulo girado.

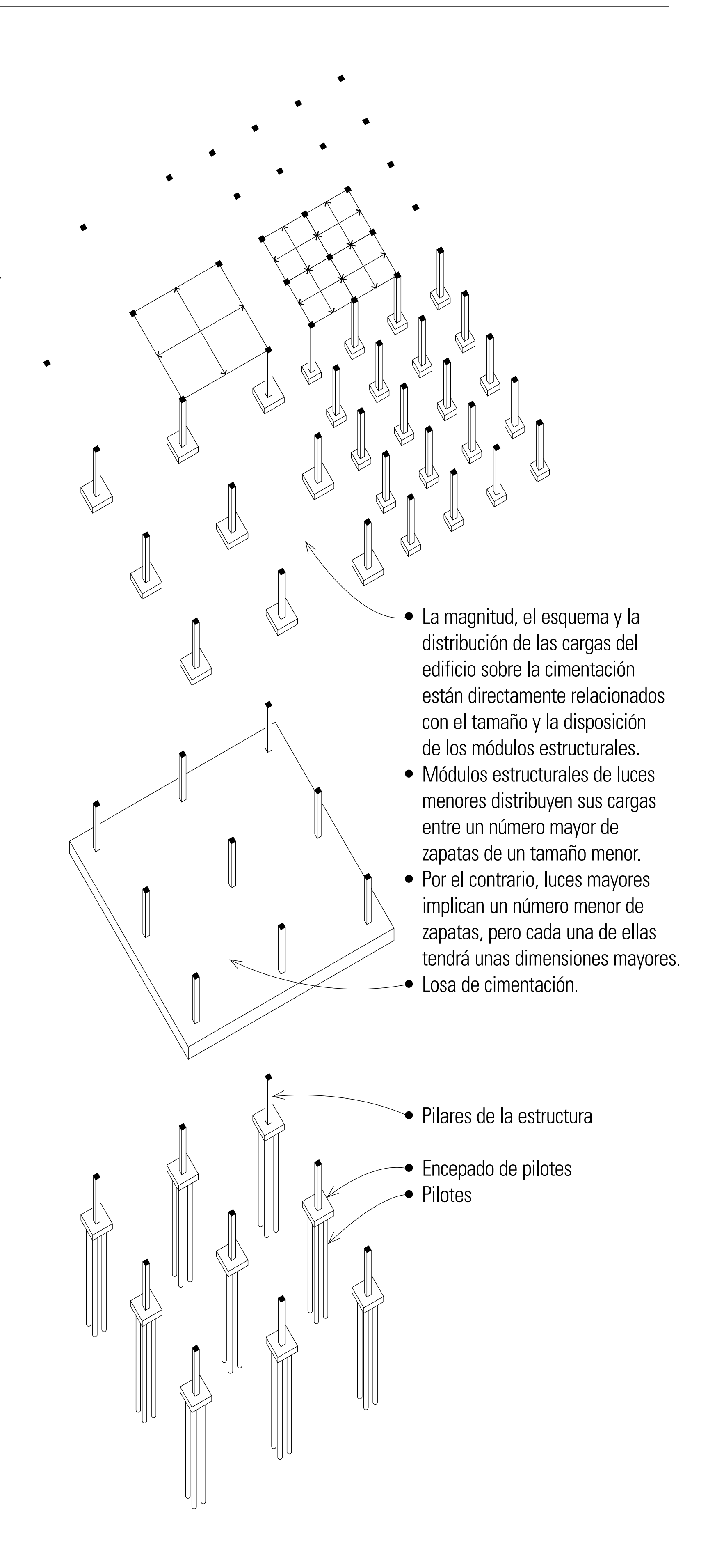


- La esquina circular contrasta con la geometría rectilínea de ambas alas, enfatiza su posición en esquina y requiere su propio esquema estructural. Cada ala puede cubrirse con un sistema unidireccional con vigas que conecta cada ala con el módulo de esquina.

Esquina enfatizada


• Los módulos repetitivos se reducen en cuña al llegar a la esquina. La convergencia de los elementos radiales en un único soporte interior supone una dificultad constructiva.
• Ambas alas pueden organizar su estructura independientemente y quedar cosidas por un elemento de transición en la esquina.
• Aumentar el radio de curvatura de la esquina en cuña permite tener vanos más amplios y evitar la intersección problemática de seis vigas, como en el caso de arriba.
• El vacío de la esquina enfatiza la independencia de cada ala, que solo están unidas mediante un soporte en común.
• Aumentar aún más el radio produce como resultado vanos mayores y más variables.
• Ambas alas pueden ser sistemas estructurales independientes solo relacionados por proximidad.
Esquinas curvas
Esquina como vacío

Retículas de cimentación
La función principal de los cimientos es soportar y anclar la estructura que se levanta sobre ellos, transmitiendo las cargas de forma segura al terreno. Puesto que la cimentación asume una función crítica en la distribución y resolución de las cargas del edificio, su esquema de soportes debe diseñarse para acomodarse tanto a la forma y a la disposición de la estructura que soporta como a las distintas características del suelo, la roca y el agua subterránea.

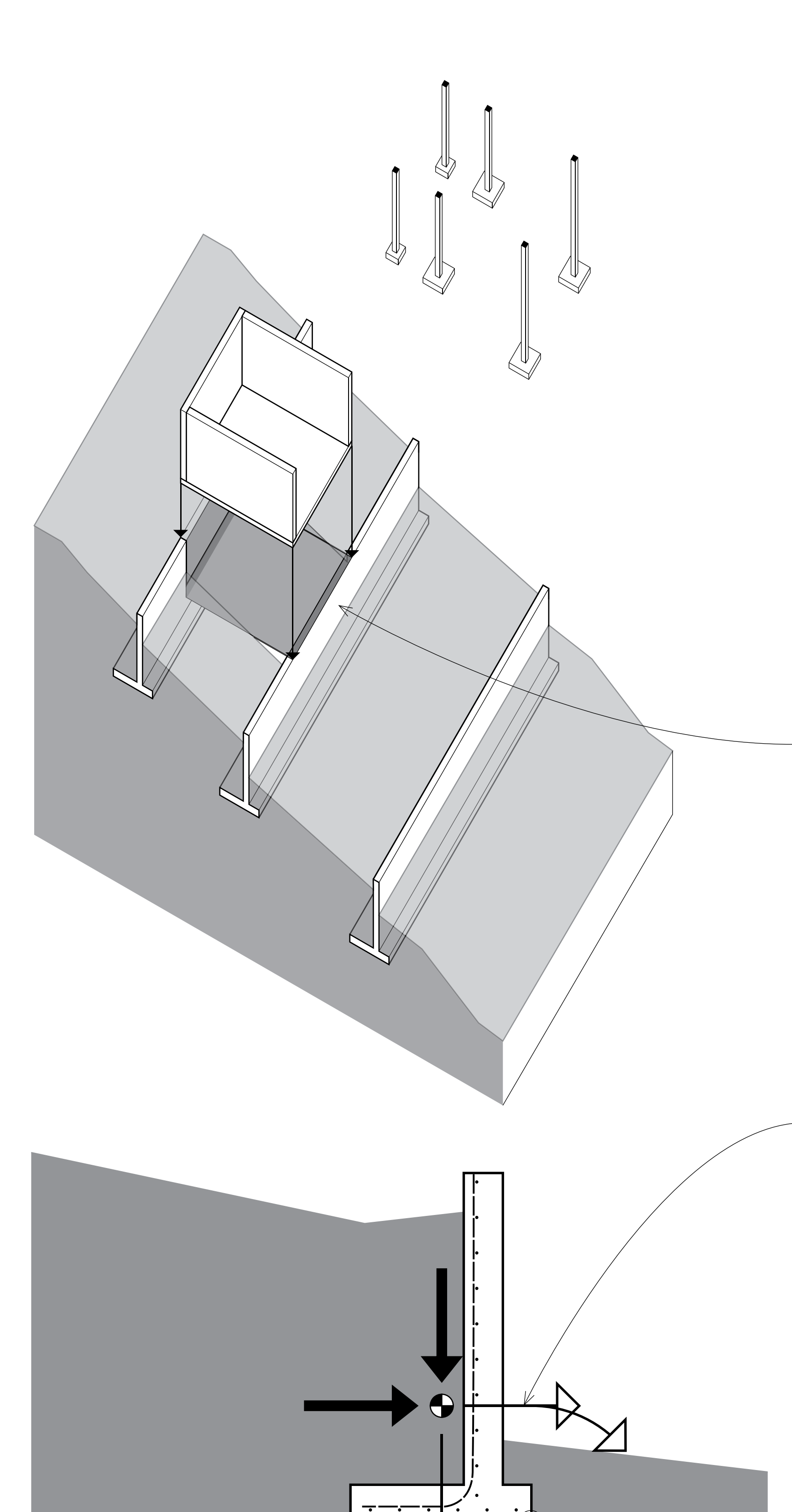


La capacidad portante del terreno de apoyo tendrá un impacto significativo en el tipo de cimentación. Las cimentaciones superficiales se emplean cuando hay suelos estables y con una capacidad portante adecuada relativamente cerca de la superficie del terreno. Las zapatas distribuyen la carga sobre una superficie lo bastante amplia como para no exceder la capacidad portante del suelo. Esto debería garantizar que sea cual sea el asiento que se produzca, sea mínimo y esté uniformemente distribuido en todas las partes de la estructura.

Cuando la capacidad portante del terreno varía en distintas zonas de la parcela, las cimentaciones superficies pueden fusionarse para formar una única losa de cimentación, que básicamente consiste en una losa de hormigón gruesa y muy armada. Las losas de cimentación distribuyen las cargas concentradas en las partes de terreno con mayor capacidad portante, para evitar que se produzcan asientos diferenciales entre las distintas zapatas.

Cuando las cargas del edificio exceden la capacidad portante del terreno en el cual se apoya, deben utilizarse pozos o pilotes de cimentación. Las cimentaciones de pilotes consisten en barras de acero, hormigón o madera que se hincan en el terreno hasta alcanzar un estrato de terreno más resistente, roca o suelo más denso, o hasta que la fricción del terreno con los pilotes es suficiente para soportar las cargas previstas. Los pilotes suelen atarse con un elemento de hormigón in situ, o encepado, donde apoya el pilar.

Los pozos de cimentación son pozos de hormigón armado vertido in situ que se crean excavando el terreno hasta la profundidad deseada, colocando la armadura de acero y vertiendo a continuación el hormigón. Por lo general, los pozos tienen un diámetro mayor que los pilotes y resultan particularmente adecuados para laderas en las cuales los desplazamientos laterales constituyen un problema fundamental.



Construcción en ladera

Las cimentaciones de pilotes pueden utilizarse en terrenos irregulares o en laderas, especialmente donde las capas superficiales de la ladera sean inestables y los pilotes puedan extenderse en profundidad hasta alcanzar un estrato más resistente de suelo o roca. En tales casos, puede que no sea necesario retener el terreno, y los pilotes pueden alinearse con la posición prevista de los soportes del edificio.

Cuando es deseable o necesario excavar una ladera, suele recurrirse a muros de contención para contener la masa de tierra por encima de la excavación. El suelo contenido se considera como un fluido que ejerce un empuje lateral sobre la cara del muro de contención, haciendo que el muro tienda a desplazarse lateralmente o volcar. El momento de vuelco generado por el empuje lateral del suelo y la resistencia opuesta por la cimentación del muro depende de la altura del este. El momento aumenta con el cuadrado de la altura del terreno contenido. Al aumentar la altura del muro, puede ser necesario dotarlo de un talón trasero, anclajes o contrafuertes; estos consisten en muros perpendiculares que arriostran la losa del muro y añaden peso a su cimentación.

Una serie de muros de contención paralelos a la ladera pueden proporcionar un soporte continuo para la estructura del edificio. No es recomendable apoyar el peso del edificio sobre el terreno por detrás del muro de contención. La localización de los muros de contención, por tanto, debería coincidir con las líneas de apoyo del edificio bajo el cual se encuentra.

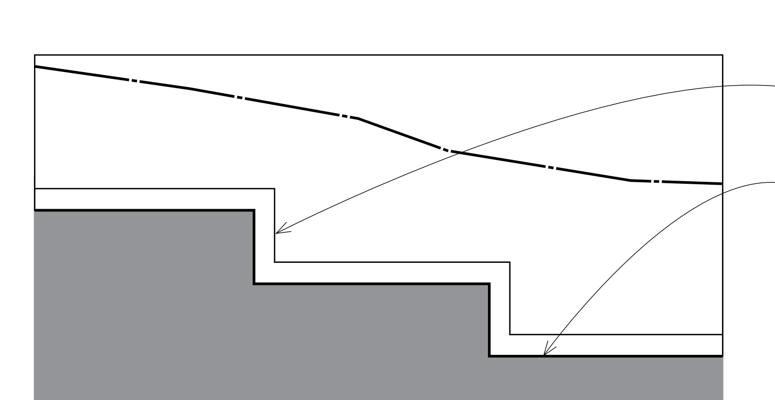
Un muro de contención puede colapsar por vuelco, deslizamiento lateral o asiento excesivo.

- El empuje tiende a volcar el muro de contención pivotando en la puntera de la base. Para prevenir el vuelco del muro, el momento resistente del peso compuesto del muro y del terreno sobre el talón de la base debe contrarrestar el momento de vuelco generado por el empuje del terreno.
- Para evitar el deslizamiento del muro de contención, el peso compuesto del muro y del terreno apoyado sobre su base, multiplicado por el coeficiente de fricción del suelo bajo el muro, debe contrarrestar el empuje lateral sobre el muro. El empuje pasivo del terreno situado sobre la base del muro ayuda a resistir el empuje lateral.
- Para prevenir el asiento del muro de contención, la carga vertical no debe exceder la capacidad portante del terreno.

En proyectos pequeños y cuando el diseño no requiere la excavación en una ladera, pueden plantearse vigas que cosan la cimentación en una única unidad rígida que a su vez se ancla a los pilotes, situados normalmente en la parte superior de la parcela. Esta solución es adecuada allí donde se busca una perturbación mínima del lugar y donde el edificio es accesible, principalmente desde la parte superior.

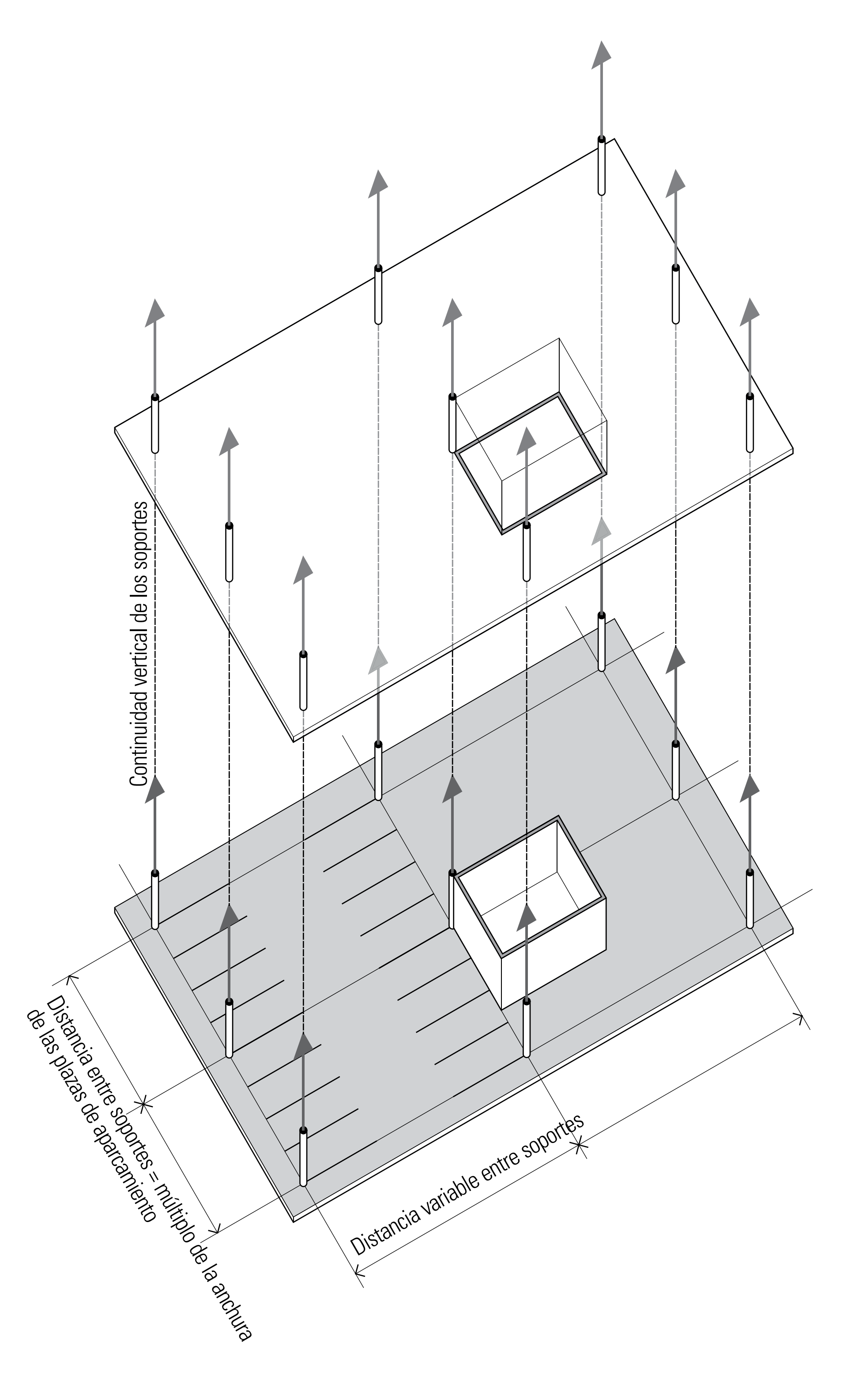
Zapatas
Vigas de cimentación

Cuando un proyecto no requiere una excavación en ladera, los muros de cimentación pueden disponerse en perpendicular a la pendiente y escalonados siguiendo la topografía. Puesto que estas cimentaciones escalonadas no retienen el terreno, normalmente no requieren el armado y los grandes cimientos de los muros de contención.



- Las zapatas deben escalonarse cuando sea necesario mantenerlas sobre un terreno con pendientes superiores al 10 %.
- El canto de las zapatas debe mantenerse también en sus tramos verticales.

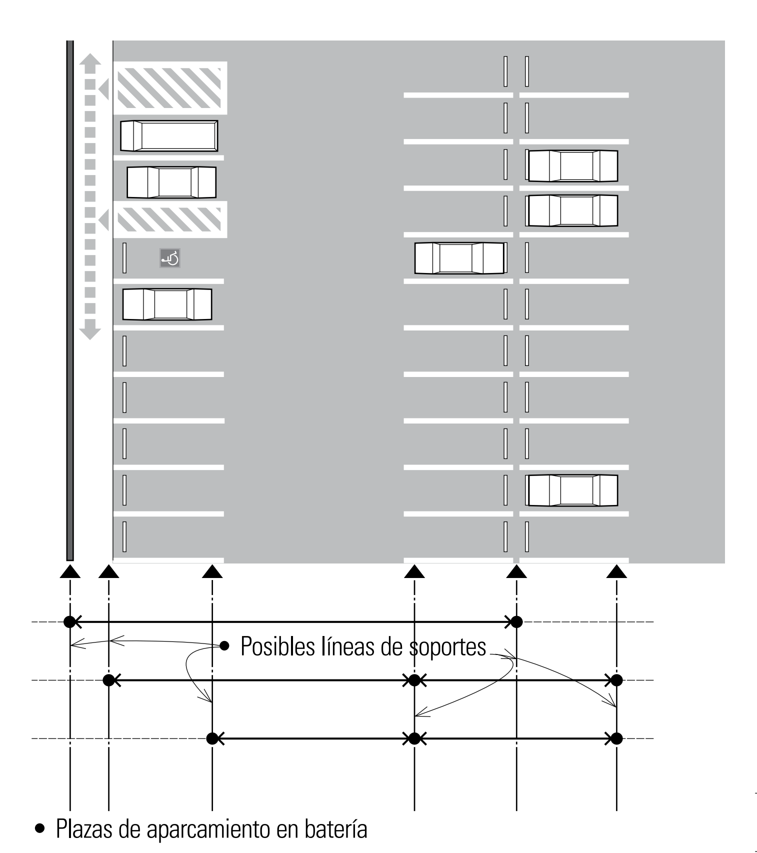
- Las zapatas deben situarse sobre suelos naturales o convenientemente compactados.
- La base de las zapatas debe situarse al menos 30 cm por debajo del nivel del terreno, excepto en zonas con riesgo de heladas, en cuyo caso deben situarse por debajo de la línea de heladicidad.
- La parte superior de las zapatas debe estar nivelada, mientras que la cara inferior puede tener una pendiente de hasta el 10 %.



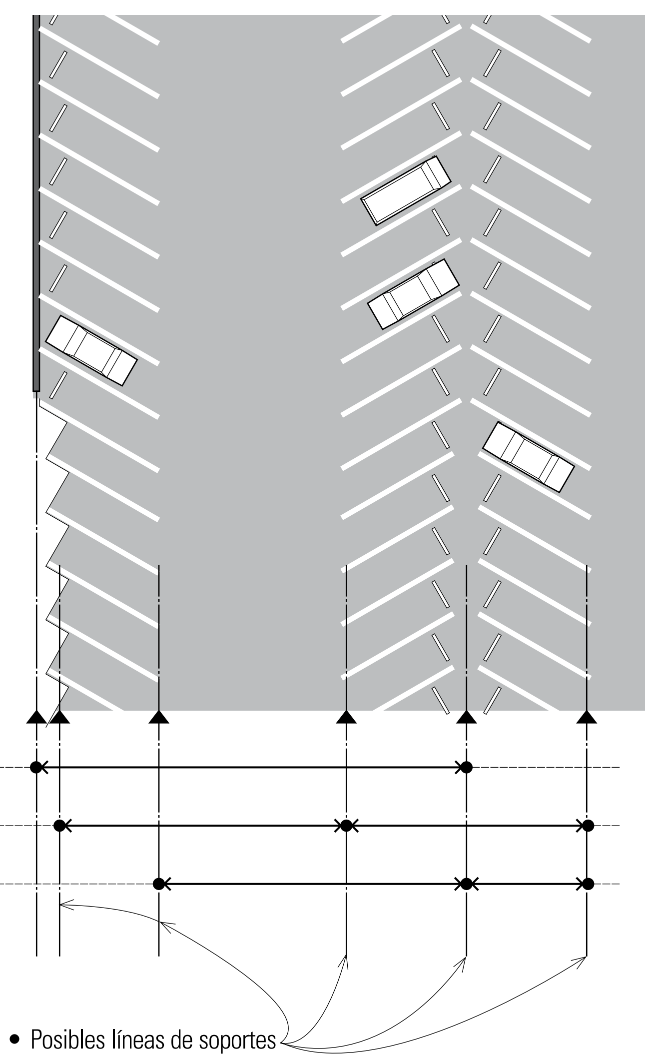
Estructuras de aparcamiento
Cuando el único propósito de una estructura es servir de aparcamiento, las dimensiones específicas requeridas para maniobrar y estacionar los vehículos dictan las posibles posiciones de los soportes para organizar los módulos estructurales. Cuando el aparcamiento es una función secundaria de un edificio, suele situarse en las plantas inferiores de la estructura, mientras que el resto de los usos ocupan las plantas superiores. A menudo es difícil resolver una retícula estructural adecuada para las plantas superiores y que se acomode de forma eficaz al aparcamiento. Superponer las condiciones de ambas funciones puede resultar útil para identificar una retícula común que aproveche la flexibilidad en la disposición de los soportes, como puede observarse en los diagramas de la página siguiente.

Cuando no es posible alinear los soportes, puede ser viable utilizar vigas de apeo para trasladar las cargas de las plantas superiores hasta los cimientos a través de las plantas de aparcamiento, aunque esta solución debe evitarse al máximo.

En edificios de uso mixto en los cuales dos usos —como el aparcamiento y la vivienda— requieren un grado específico de aislamiento al fuego, puede plantearse un forjado de separación en forma de losa postensada de hormigón de cierto grosor. La losa es capaz de transmitir las cargas de soportes y muros de contención de las plantas superiores a la estructura del aparcamiento, al tiempo que proporciona el aislamiento frente al fuego requerido. Esto solo es viable cuando la estructura superior está sometida a cargas relativamente ligeras, y probablemente será poco eficiente en términos económicos si se producen cargas concentradas elevadas o cuando el desfase entre los soportes implica la aparición de cargas concentradas en la parte central de los vanos mayores.



• Plazas de aparcamiento en batería

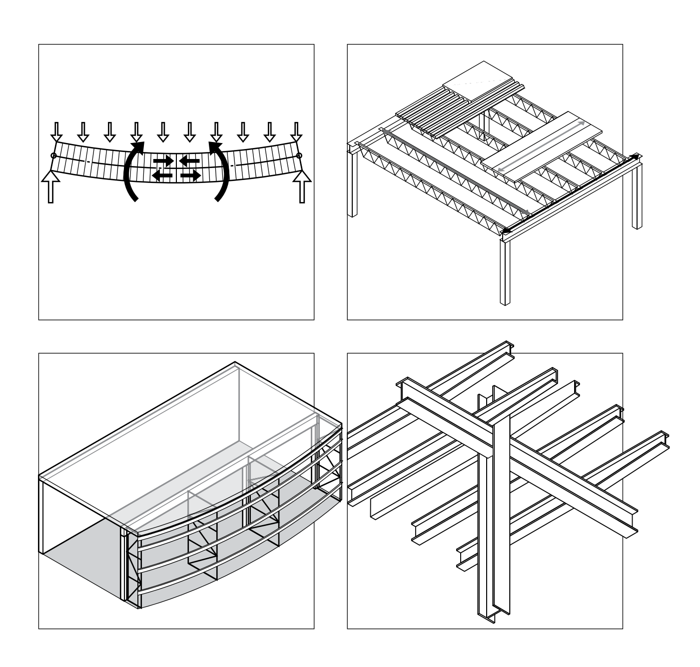


• Plazas de aparcamiento en diagonal

Los pilares de la estructura de un aparcamiento deberían situarse, siempre que sea posible, entre plazas adyacentes en un sentido, y en algún múltiplo de la anchura de las plazas de aparcamiento en el otro. La distribución debería permitir espacio suficiente para las maniobras de los automóviles y la abertura de las puertas. Los pilares deberían ser visibles para los conductores en maniobras marcha atrás. Todos estos requisitos producen luces moderadamente amplias de unos 18 m.

Sin embargo, como muestran los diagramas en planta, hay lugares alternativos para los soportes. Los triángulos negros indican posibles líneas de soporte a lo largo de las cuales pueden espaciarse de forma concertada con las plazas de aparcamiento. Puede verse que hay una diversidad de luces viables que posibilitan la coordinación de una distribución particular con la distribución de la estructura superior.

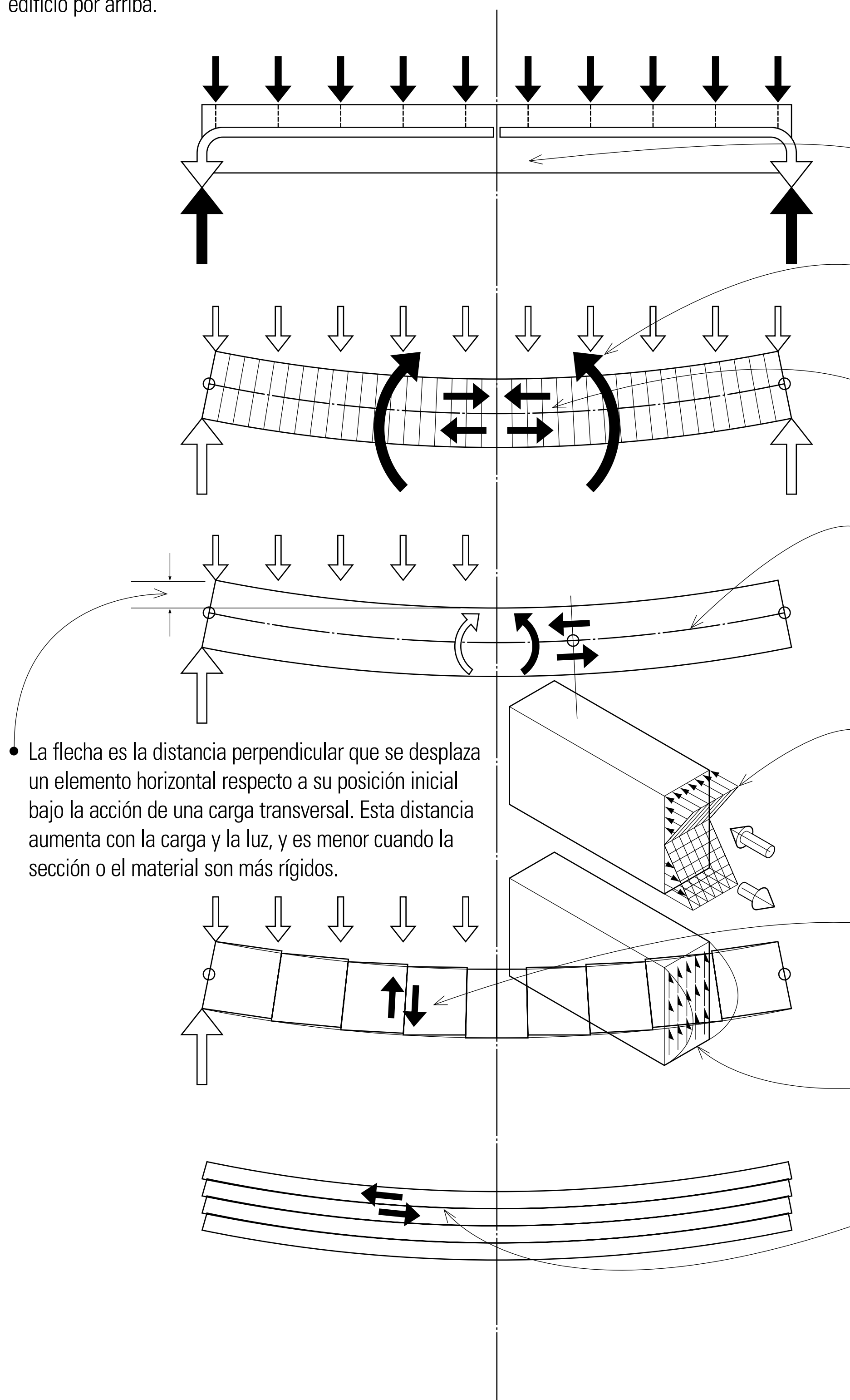
3
Elementos portantes horizontales



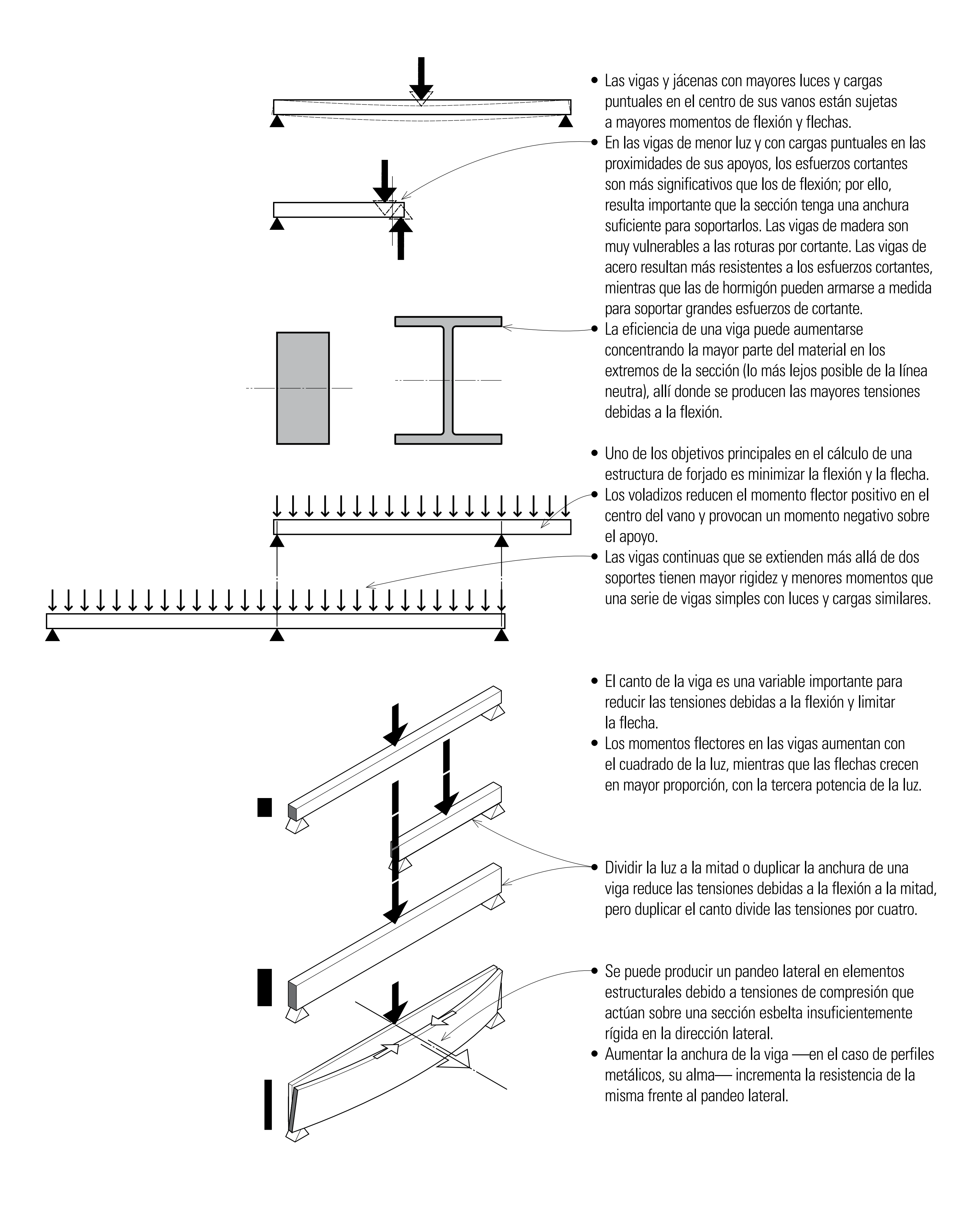
Los soportes verticales —pilares y muros de carga— puntúan el espacio y establecen un ritmo y una escala mensurables que hacen comprensibles las dimensiones espaciales. No obstante, los espacios arquitectónicos también requieren elementos horizontales que establezcan el plano estructural capaz de soportar personas, actividades y mobiliario, así como la cubierta que protege el espacio y limita el edificio por arriba.

Vigas

Las estructuras de cualquier planta y cubierta están compuestas de elementos lineales y planos, como vigas, jácenas y losas, diseñados para transferir las cargas transversales a lo largo del espacio hasta los soportes verticales. Para comprender el comportamiento estructural de estos elementos horizontales, empezaremos con una reflexión general sobre las vigas, que se aplica a todo tipo de elemento lineal sometido a flexión.



- La luz es la distancia que debe salvar una estructura entre dos soportes.
- El momento de flexión es el originado por las cargas externas que tiende a rotar o deformar una estructura.
- El momento resistente es el momento interno, igual y opuesto al momento de flexión, generado por un par de fuerzas que mantienen el equilibrio de la sección considerada.
- La línea neutra es una línea imaginaria que recorre los centroides (centros geométricos) de la sección transversal de una viga o cualquier otro elemento estructural sometido a flexión, en la cual no se produce ningún esfuerzo de flexión.
- La flecha es la distancia perpendicular que se desplaza un elemento horizontal respecto a su posición inicial bajo la acción de una carga transversal. Esta distancia aumenta con la carga y la luz, y es menor cuando la sección o el material son más rígidos.
- La flexión es una combinación de esfuerzos de compresión y tracción en una sección transversal de un elemento estructural para resistir la fuerza transversal y que alcanza su máximo valor en la superficie más alejada del eje.
- Las tensiones cortantes verticales se producen a lo largo de la sección transversal en respuesta al esfuerzo cortante, que alcanza su máximo en la línea neutra y disminuye de forma no lineal hacia las caras exteriores.
- La tensión cortante en la sección transversal de una viga u otro elemento estructural sometido a flexión es igual a la suma de los esfuerzos cortantes en un lado de la sección.
- Las tensiones cortantes se desarrollan a lo largo de los planos horizontales de una viga sometida a cargas transversales, siendo iguales en cada punto a las tensiones cortantes verticales existentes en el mismo.



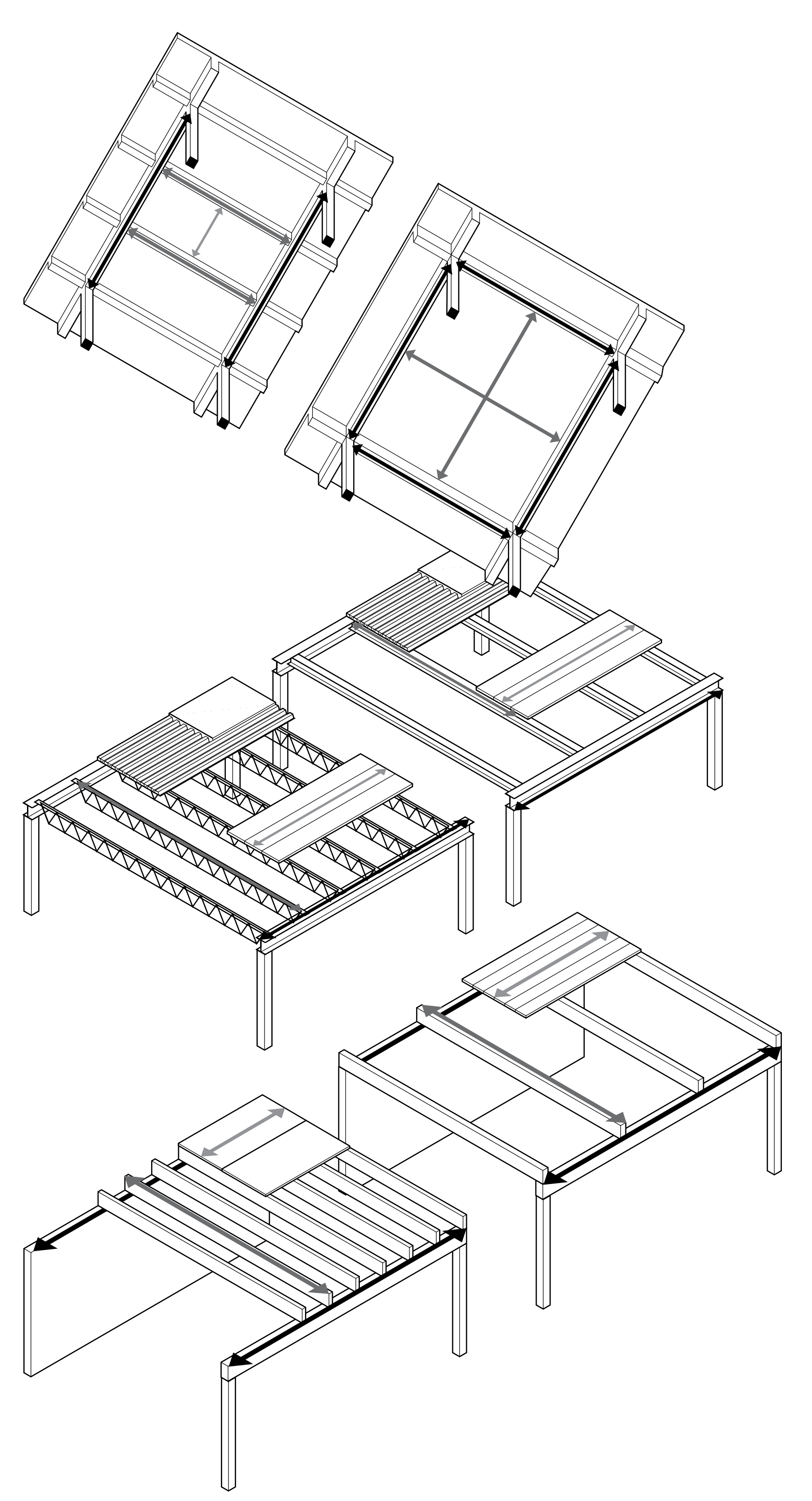
- Las vigas y jácenas con mayores luces y cargas puntuales en el centro de sus vanos están sujetas a mayores momentos de flexión y flechas.
- En las vigas de menor luz y con cargas puntuales en las proximidades de sus apoyos, los esfuerzos cortantes son más significativos que los de flexión; por ello, resulta importante que la sección tenga una anchura suficiente para soportarlos. Las vigas de madera son muy vulnerables a las roturas por cortante. Las vigas de acero resultan más resistentes a los esfuerzos cortantes, mientras que las de hormigón pueden armarse a medida para soportar grandes esfuerzos de cortante.
- La eficiencia de una viga puede aumentarse concentrando la mayor parte del material en los extremos de la sección (lo más lejos posible de la línea neutra), allí donde se producen las mayores tensiones debidas a la flexión.

- Uno de los objetivos principales en el cálculo de una estructura de forjado es minimizar la flexión y la flecha.
- Los voladizos reducen el momento flector positivo en el centro del vano y provocan un momento negativo sobre el apoyo.
- Las vigas continuas que se extienden más allá de dos soportes tienen mayor rigidez y menores momentos que una serie de vigas simples con luces y cargas similares.

- El canto de la viga es una variable importante para reducir las tensiones debidas a la flexión y limitar la flecha.
- Los momentos flectores en las vigas aumentan con el cuadrado de la luz, mientras que las flechas crecen en mayor proporción, con la tercera potencia de la luz.

- Dividir la luz a la mitad o duplicar la anchura de una viga reduce las tensiones debidas a la flexión a la mitad, pero duplicar el canto divide las tensiones por cuatro.

- Se puede producir un pandeo lateral en elementos estructurales debido a tensiones de compresión que actúan sobre una sección esbelta insuficientemente rígida en la dirección lateral.
- Aumentar la anchura de la viga —en el caso de perfiles metálicos, su alma— incrementa la resistencia de la misma frente al pandeo lateral.



Los elementos portantes horizontales pueden estar constituidos por losas homogéneas de hormigón armado o por una serie jerarquizada de capas o niveles de viguetas, vigas y jácenas de acero o madera que soportan un plano horizontal de cubierta o forjado.

Hormigón

- Los forjados de hormigón in situ se clasifican en función de la luz y de los encofrados; véanse págs. 94-105.
- Las losas prefabricadas de hormigón pueden apoyarse sobre vigas o sobre muros de carga.

Acero

- Las vigas de acero pueden soportar forjados de acero o losas prefabricadas de hormigón.
- Las vigas pueden estar apoyadas en otras vigas, en soportes o en muros de carga.
- El entramado de vigas normalmente forma parte integral del entramado global de la estructura.

- Pueden utilizarse viguetas aligeradas o de alma abierta próximas entre sí y apoyadas sobre vigas o muros de carga.
- Las chapas de acero o los tableros de madera requieren luces relativamente reducidas.
- Las viguetas tienen una capacidad limitada para conformar voladizos.

Madera

- Las vigas de madera soportan losas y forjados estructurales.
- Las vigas pueden estar apoyadas en otras vigas, en pilares o en muros de carga.
- Las cargas puntuales y los huecos en el forjado pueden requerir refuerzos en el entramado.
- La parte inferior del forjado puede quedar expuesto; los acabados de los techos son opcionales.

- Viguetas relativamente pequeñas y próximas unas a otras pueden apoyarse sobre vigas o muros de carga.
- Los elementos de cerramiento entre viguetas bajo el solado o los acabados de techo suelen tener dimensiones pequeñas.
- El entramado de viguetas es flexible en forma y tamaño.

Tipos de construcción

En la página anterior se describen los principales sistemas portantes horizontales de hormigón, acero y madera.
Los materiales de los forjados generalmente vienen determinados por la magnitud de las cargas y de las luces que deben salvar. Otra variable importante a la hora de seleccionar el material de la estructura es el tipo de construcción marcado por la norma en función del tamaño y el uso del edificio. Las normas clasifican el sistema constructivo de un edificio de acuerdo con la resistencia frente al fuego de sus principales elementos: entramado estructural, muros exteriores e interiores de carga, tabiques y particiones interiores y conexiones con forjados y cubierta.

Hormigón
- Incombustible
- Construcciones de los tipos I, II o III.

- En edificios de tipo I, todos los elementos principales están construidos con materiales incombustibles (hormigón, ladrillo o acero), y se permite el uso de algunos materiales combustibles siempre que sean auxiliares a la estructura principal del edificio. Los edificios de tipo II son similares a los de tipo I, excepto por una reducción de los grados exigidos de resistencia frente al fuego para los elementos principales de la edificación.
- Los edificios de tipo III cuentan con muros exteriores incombustibles, mientras que los elementos interiores pueden estar construidos con cualquier material que permita la normativa.

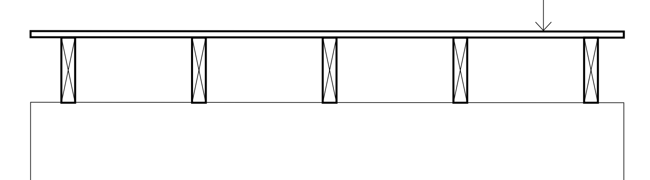
Acero
- Incombustible
- La aplicación de materiales resistentes al fuego puede aumentar la durabilidad en un incendio incluso de los materiales no combustibles. El acero o el hormigón pueden perder parte de su resistencia por exposición al fuego si no están adecuadamente protegidos.
- Construcciones de los tipos I, II y III.

- Los edificios de tipo IV (madera) tienen muros exteriores de materiales incombustibles, mientras que los elementos principales del interior son de madera natural o laminada con una sección mínima y sin cámaras de aire interiores.

Madera
- Combustible
- La madera puede hacerse resistente frente al fuego mediante la aplicación de revestimientos retardantes que impidan su expansión y prolonguen la vida de la estructura durante un incendio.
- Construcciones de los tipos IV y V.

- Los edificios de tipo V cuentan con elementos estructurales, muros exteriores e interiores de cualquier material que permita la normativa.

- Los elementos constructivos principales de un edificio, salvo tabiques y particiones interiores no portantes, deben ser capaces de resistir al menos una hora la acción del fuego para poder hablar de una construcción resistente al fuego.
- Aquellos edificios que no necesiten protección específica al fuego pueden requerir cierto grado de resistencia al fuego en los muros exteriores próximos al límite de la parcela.



Niveles estructurales

A la hora de soportar cargas uniformemente distribuidas en el nivel superior (la superficie transitable), la capa superficial debería diseñarse para alcanzar la máxima eficiencia. Así, la elección de los elementos estructurales de un forjado y de la distancia a la cual se dispongan estos debe comenzar por el punto de aplicación de la sobrecarga. La carga se distribuye a través de los sucesivos niveles de la estructura hasta llegar a la cimentación. Por lo general, las luces mayores implicarán un número mayor de niveles para reducir la cantidad de material empleado, resultando en una eficiencia mayor.

- Cada nivel de un forjado unidireccional está apoyado sobre el inferior y requiere que la dirección en la cual se distribuyen las cargas se vaya alternando en cada nivel sucesivo.

El primer nivel ocupa la posición superior, es responsable de crear la superficie transitable y puede estar construido con:

- Tableros de madera estructural
- Chapados de madera o acero
- Planchas prefabricadas de hormigón
- Losas de hormigón in situ

- La capacidad de asumir cargas y salvar luces de estos elementos superficiales determina el tamaño y la distancia entre los elementos que conforman el siguiente nivel.

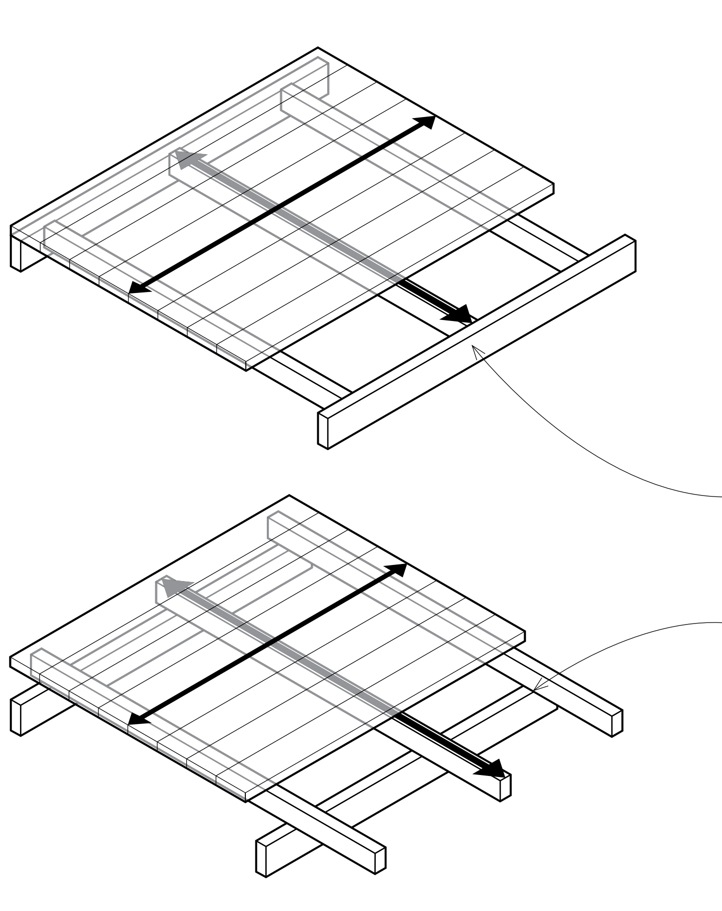
El segundo nivel soporta la superficie transitable y puede estar construido con:

- Viguetas de madera o de acero con alma aligerada
- Vigas de acero de alma abierta
- Perfiles de acero laminado

- Estos elementos tienen dimensiones mayores y son lineales por naturaleza.

El tercer nivel puede ser necesario para soportar las vigas y viguetas del segundo nivel y pueden materializarse como:

- Vigas o cerchas
- En lugar de un tercer nivel horizontal, las vigas y viguetas del segundo pueden apoyarse en una serie de pilares o muros de carga.



Canto

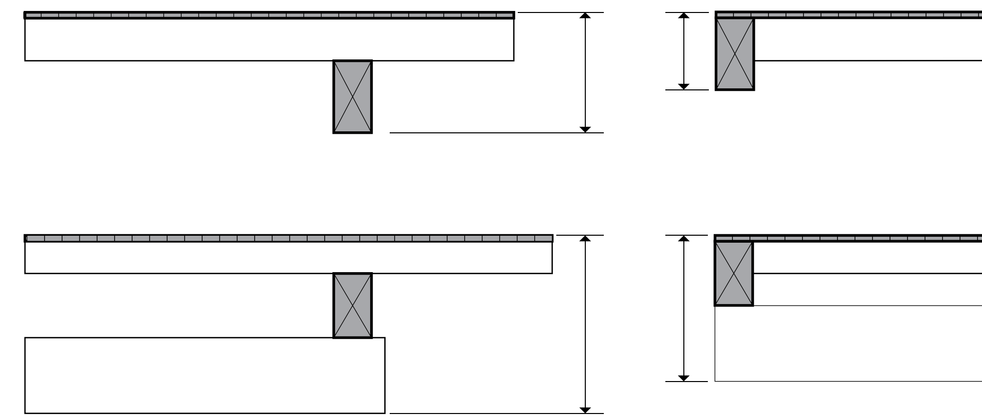
El canto de un forjado o una cubierta está directamente relacionado con el tamaño y la proporción de los vanos, las luces que debe salvar, la magnitud de las sobrecargas y la resistencia de los materiales empleados. El canto estructural de un forjado o de una cubierta es una variable crítica en áreas donde la normativa urbanística restringe la altura del edificio, y donde maximizar la superficie útil es importante para la viabilidad económica de un proyecto. En el caso de forjados que separen espacios habitables, cabe también tener en cuenta la estanquidad, el aislamiento acústico y la resistencia frente al fuego de todos los componentes y juntas.

En el caso de forjados de acero o madera es recomendable aplicar los siguientes criterios:

- Los distintos niveles estructurales del sistema portante horizontal pueden situarse unos encima de otros o quedar todas ellos enmarcados en el mismo plano.

- La superposición de niveles aumenta el canto del forjado, pero, a cambio, posibilita la continuidad de los elementos lineales y disponer voladizos.
- La superposición de un nivel sobre el inferior proporciona huecos y espacios dentro del forjado por donde pasar instalaciones y otros sistemas.

- Los distintos niveles pueden crearse o enmarcarse dentro de un plano para minimizar el canto del forjado. En este caso, el canto de la viga o cercha que cubra la luz mayor fijará el canto total del forjado.



- En algunos casos, el canto total del forjado puede reducirse mediante la integración de sistemas estructurales y de instalaciones que ocupen el mismo volumen, en lugar de disponerse en niveles distintos. Esta solución, sin embargo, requiere un estudio cuidadoso, pues puede exigir la perforación de elementos estructurales ocasionando concentraciones de tensiones localizadas.

El dimensionado de los elementos estructurales y sus conexiones precisa una comprensión del contexto en el cual se utiliza cada elemento o conexión; es decir, del tipo de cargas y de apoyos.

Cargas distribuidas y puntuales
Las estructuras se diseñan para soportar una combinación de cargas de peso propio, sobrecargas de uso y cargas laterales. Tan importante como la magnitud de dichas cargas es el modo como se aplican a la estructura. Las cargas pueden ser puntuales o estar distribuidas. Es importante entender esta distinción porque algunos sistemas estructurales funcionan mejor para soportar cargas relativamente ligeras y uniformemente distribuidas, mientras que otros son más adecuados para soportar una serie de cargas puntuales.

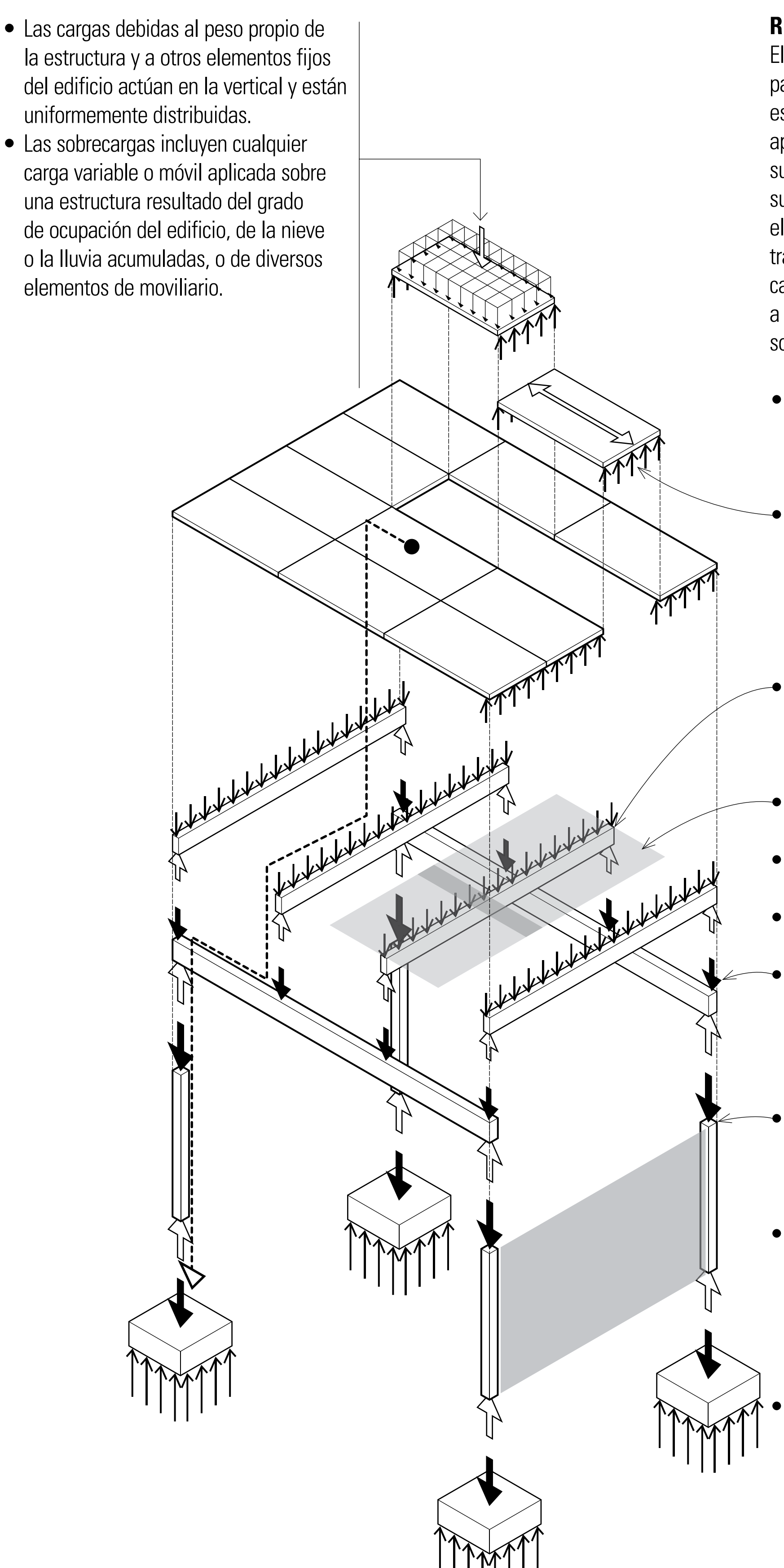
Muchos forjados están sujetos a cargas distribuidas y relativamente ligeras. En los casos en los cuales la rigidez y la resistencia a flexión tienden a gobernar el comportamiento de la estructura, suele ser apropiado elegir un tipo de distribución de la estructura que consista en un elevado número de elementos pequeños y próximos, como podrían ser las viguetas. Sin embargo, estos sistemas estructurales distribuidos no responden tan bien a situaciones de cargas puntuales que requieren un número menor de elementos horizontales pero de mayor sección, como sería el caso de jácenas y cerchas.

- Ejemplos de cargas uniformemente distribuidas sobre la superficie de un elemento estructural serían el peso propio de una estructura, la sobrecarga de uso sobre un forjado, la sobrecarga de nieve en una cubierta, o la carga horizontal de viento sobre un muro. La normativa técnica especifica el valor mínimo de las cargas distribuidas asociadas a distintos usos y grados de ocupación.

- Una carga puntual actúa sobre un punto o una superficie muy reducida de un elemento estructural, como cuando una viga apoya sobre un soporte, un soporte apoya sobre una viga de apeo, o una cercha sobre un muro de carga.

- Las cargas puntuales constituyen un problema específico porque el efecto de una carga aplicada sobre el centro de un vano supone duplicar el momento flector respecto a esa misma carga distribuida. Por ello, siempre es preferible colocar un soporte o un muro de carga debajo de la carga puntual.
- Cuando no es posible, debe recurrirse a una viga de apeo para transferir la carga vertical hasta los soportes correspondientes.
- Puesto que un forjado debe ser capaz de soportar de forma segura cargas móviles, es conveniente hacerlo relativamente rígido, pero sin que por ello pierda su elasticidad. Debido a los efectos perniciosos que una flecha o unas vibraciones excesivas tendrían en los acabados de suelos y techos, así como en el confort de los usuarios, la flecha suele convertirse en el factor limitante para el diseño de forjados.

- Las cargas debidas al peso propio de la estructura y a otros elementos fijos del edificio actúan en la vertical y están uniformemente distribuidas.
- Las sobrecargas incluyen cualquier carga variable o móvil aplicada sobre una estructura resultado del grado de ocupación del edificio, de la nieve o la lluvia acumuladas, o de diversos elementos de moviliario.



Recorrido de las cargas

El trazado del recorrido de las cargas es el procedimiento para calcular cómo recibe, canaliza y redirige una estructura los esfuerzos resultantes de las cargas aplicadas sobre la misma a través de toda la jerarquía de sus elementos hasta la cimentación y el terreno. El análisis suele comenzar en el nivel de la cubierta, donde los elementos más pequeños recogen las cargas, y continúa trazando el camino que recorren dichas cargas a través de cada elemento portante. Las reacciones de cada elemento a la carga recibida se convierten en las cargas que deben soportar los elementos del siguiente nivel estructural.

- La secuencia jerárquica del recorrido de la carga suele ser la misma en estructuras de hormigón, acero o madera.

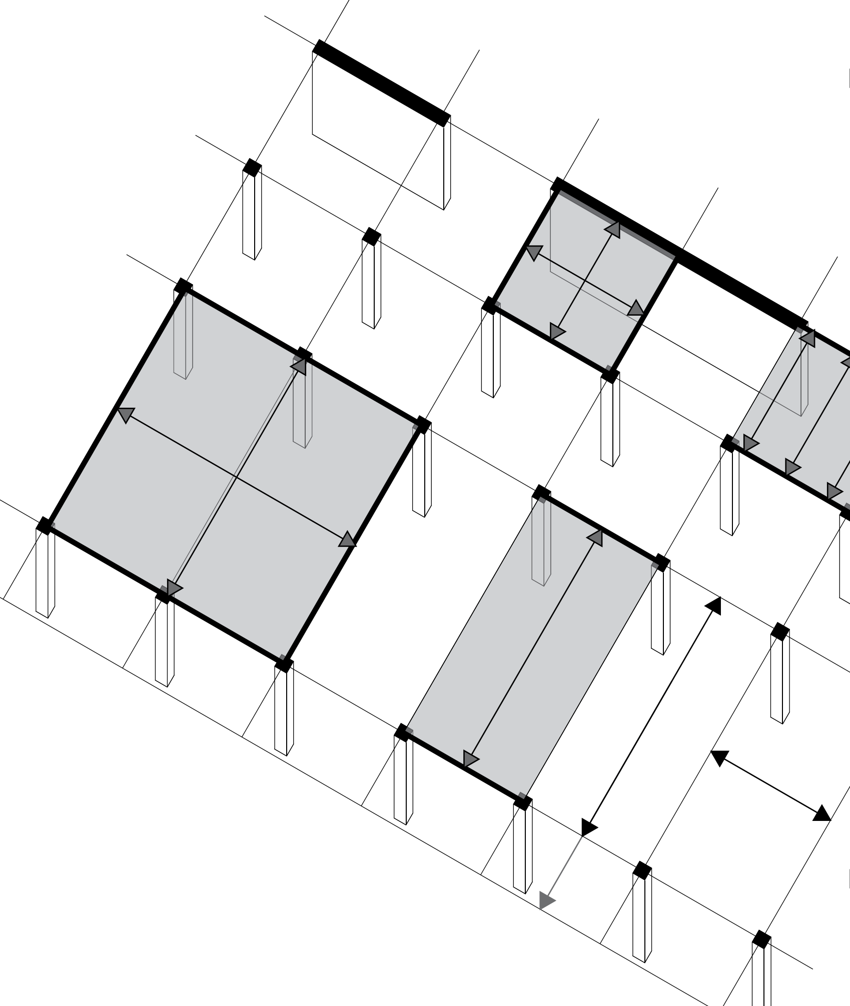
- Las cargas aplicadas sobre elementos superficiales, como forjados y cubiertas, se transmiten a las viguetas o vigas donde apoyan de forma distribuida.

- Las viguetas transmiten horizontalmente las cargas distribuidas hasta las vigas, cerchas, soportes o muros de carga en los cuales se apoyan.

- Área tributaria es la porción de estructura que contribuye a la carga sobre un elemento o componente estructural.
- La banda tributaria es el área tributaria por unidad de longitud de un elemento portante.
- La carga tributaria es la carga que un elemento o componente estructural recoge de su área tributaria.
- El apoyo se refiere al punto, la superficie o la masa que soporta el peso, especialmente al área de contacto entre un elemento portante, como una viga o una cercha, y un pilar, un muro o cualquier otro elemento estructural.
- La condición del apoyo se refiere al modo como un elemento estructural se apoya y se conecta a otros elementos, afectando a la naturaleza de las fuerzas de reacción desarrollados sobre el elemento de soporte.
- El anclaje se refiere a los medios para mantener unidos dos elementos de la estructura o un elemento de esta con otro de la cimentación, por lo general para resistir fuerzas laterales o de tracción.

- Los planos rígidos de los forjados también pueden diseñarse como diafragmas o elementos de arriostramiento capaces de transferir cargas laterales a los muros rigidizadores. Véase el capítulo quinto donde se discute en detalle sobre los diversos métodos para lograr estabilidad lateral.

Las dimensiones y proporciones de los vanos definidos por la retícula estructural influyen, y a menudo limitan, las posibilidades de elección de material y estructura de los sistemas portantes horizontales..



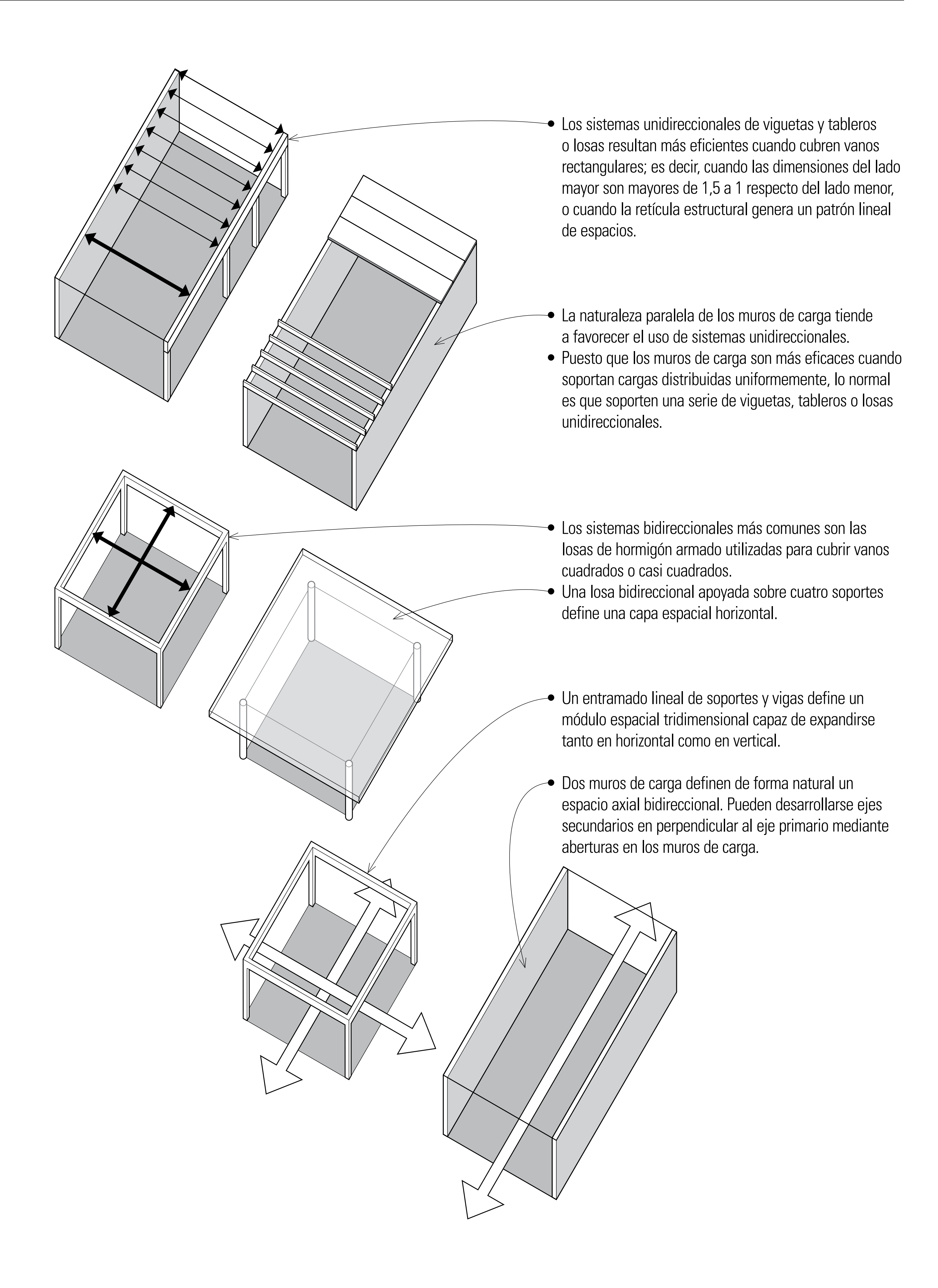
Material
- Los elementos estructurales de madera o acero se prestan a integrarse en forjados unidireccionales, mientras que los de hormigón resultan apropiados tanto para sistemas unidireccionales como bidireccionales.

Proporciones del vano estructural
- Los sistemas bidireccionales resultan más eficaces para cubrir vanos cuadrados o casi cuadrados.
- Mientras que los forjados bidireccionales requieren vanos cuadrados o casi cuadrados, la relación inversa no es necesariamente cierta. Los sistemas unidireccionales son flexibles y pueden cubrir cualquier vano cuadrado o rectangular en cualquier dirección.

Dirección del forjado
- La dirección de los forjados, determinada por la posición y orientación de los planos de soporte vertical, afecta a la naturaleza de la composición espacial, las cualidades de los espacios definidos y, hasta cierto punto, los costes de construcción.
- Las viguetas pueden colocarse tanto en la dirección larga de las crujías rectangulares, con sus vigas, pilares de soporte o muros de carga salvando el vano normalmente en dirección perpendicular y alterna.

Longitud de los vanos
- La separación entre los soportes o muros de carga define la longitud de los vanos o la luz.
- Determinados materiales tienen un rango apropiado de luces. Por ejemplo, los diversos tipos de losas de hormigón in situ pueden cubrir vanos de 1,8 a 12 m de luz. El acero es un material aún más flexible, ya que los componentes del forjado pueden fabricarse en diferentes formas, desde perfiles de alma llena o aligerada hasta cerchas, pudiendo cubrir luces de entre 5 y 24 m.

- La orientación y longitud de los voladizos, así como el tamaño y la localización de los huecos del forjado, deberían tenerse en cuenta al definir la disposición de los soportes del forjado. Las condiciones de borde de la estructura del forjado y sus conexiones con los cimientos y con los cerramientos afectan tanto a la integridad estructural de un edificio como a su apariencia física.



- Los sistemas unidireccionales de viguetas y tableros o losas resultan más eficientes cuando cubren vanos rectangulares; es decir, cuando las dimensiones del lado mayor son mayores de 1,5 a 1 respecto del lado menor, o cuando la retícula estructural genera un patrón lineal de espacios.
- La naturaleza paralela de los muros de carga tiende a favorecer el uso de sistemas unidireccionales.
- Puesto que los muros de carga son más eficaces cuando soportan cargas distribuidas uniformemente, lo normal es que soporten una serie de viguetas, tableros o losas unidireccionales.
- Los sistemas bidireccionales más comunes son las losas de hormigón armado utilizadas para cubrir vanos cuadrados o casi cuadrados.
- Una losa bidireccional apoyada sobre cuatro soportes define una capa espacial horizontal.
- Un entramado lineal de soportes y vigas define un módulo espacial tridimensional capaz de expandirse tanto en horizontal como en vertical.
- Dos muros de carga definen de forma natural un espacio axial bidireccional. Pueden desarrollarse ejes secundarios en perpendicular al eje primario mediante aberturas en los muros de carga.

SISTEMAS UNIDIRECCIONALES

En esta página están listados los rangos apropiados para los tipos básicos de sistemas portantes horizontales.

Forjados

- Madera — Tableros de madera
- Acero — Chapas de acero

Viguetas

- Madera — Sección maciza
  - Sección en I
  - Trianguladas
- Acero — Viguetas de alma aligerada
  - Viguetas de alma abierta

Vigas

- Madera — Sección maciza
  - Perfiles LVL o PSL
  - Madera laminada
- Acero — Perfiles de alma llena
- Hormigón — Vigas de hormigón

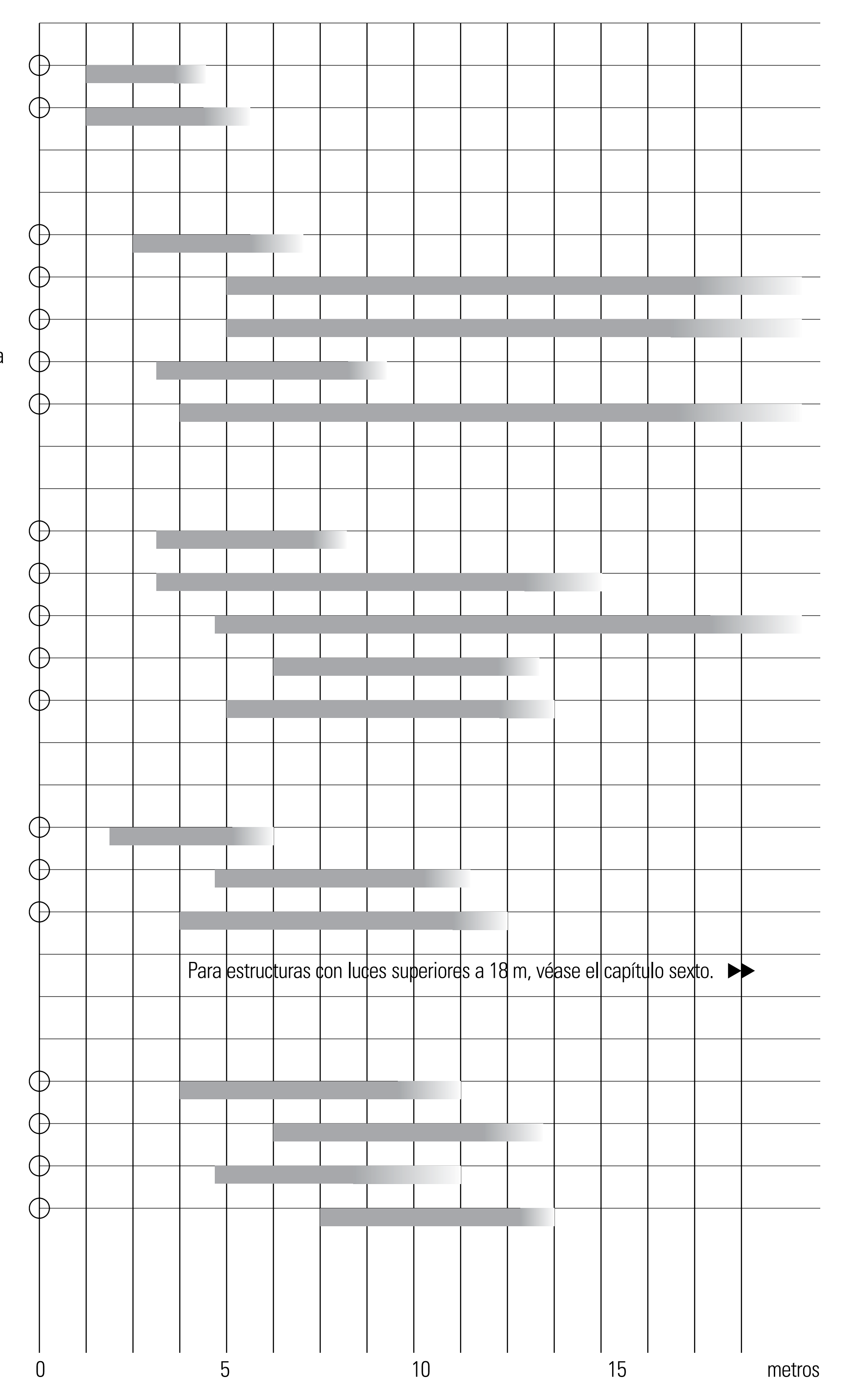
Losas

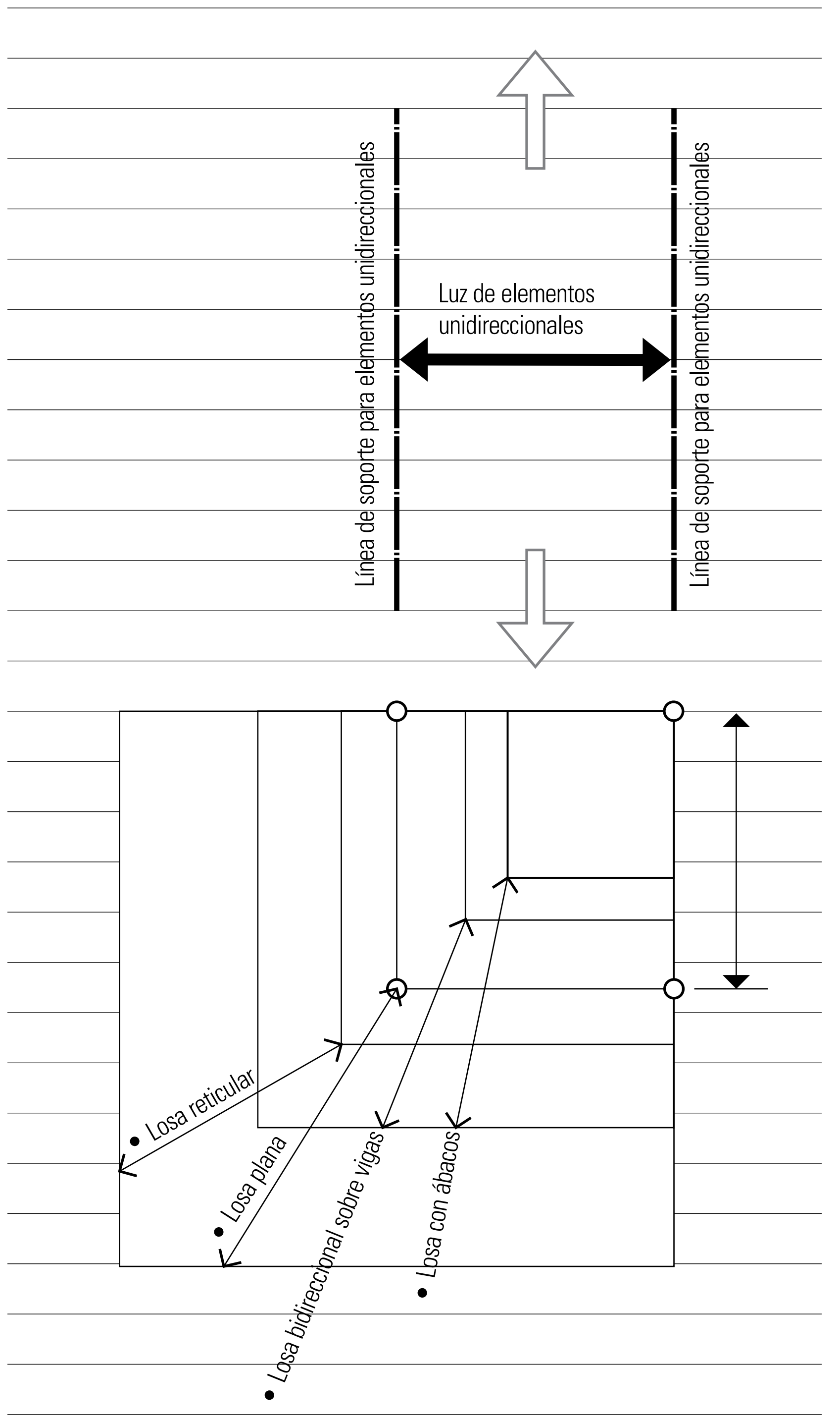
- Hormigón — Losas sobre vigas
  - Losas sobre viguetas
  - Losas prefabricadas

SISTEMAS BIDIRECCIONALES

Losas

- Hormigón — Losas planas
  - Losas con ábacos
  - Losas bidireccionales
  - Losas reticulares





• Retícula basada en un cuadrado de 4 pies (1,22 m)

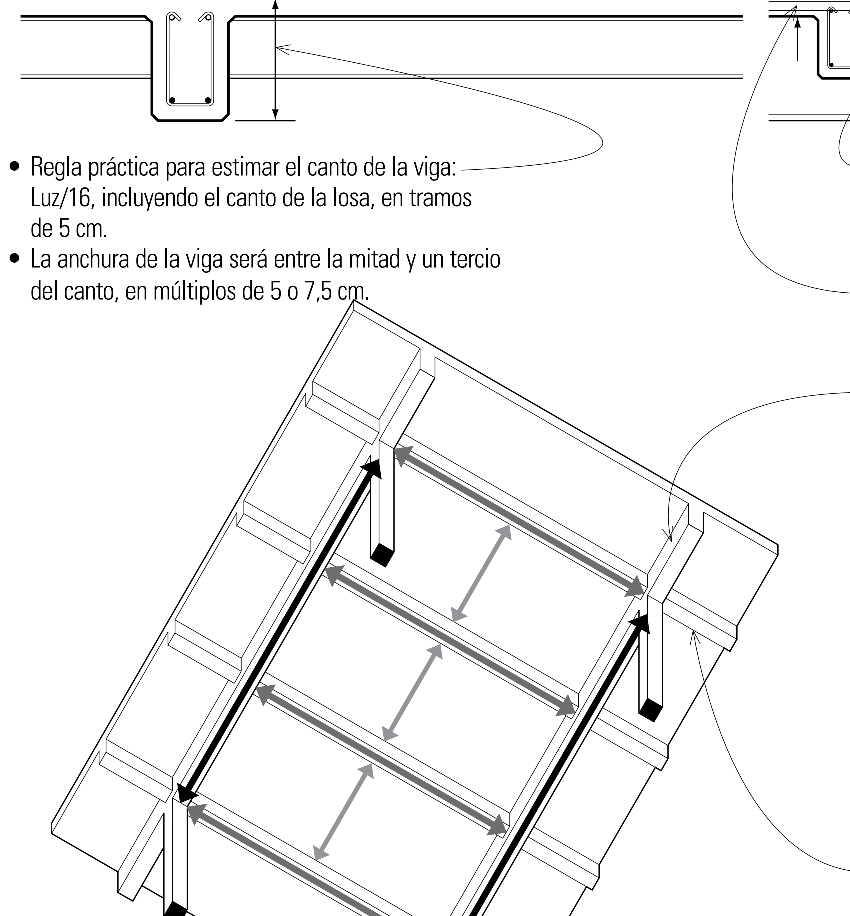
• La anchura del vano estructural está limitado en una dirección por la luz que deben salvar los componentes unidireccionales. En la dirección perpendicular, la longitud del vano viene determinada por los elementos estructurales utilizados para soportar los componentes unidireccionales, ya sean muros de carga, vigas o cerchas apoyadas sobre una serie de pilares o una combinación de los mismos.

• Las dimensiones del vano de un sistema bidireccional está determinado por la capacidad portante de cada tipo de losas de hormigón armado. Véase la tabla de la página anterior.

Losas de hormigón
Las losas de hormigón son estructuras de tipo laminar, armadas unidireccional o bidireccionalmente para salvar un vano. Se clasifican por el modo en que salven la luz y por la forma en la cual se construyen. Puesto que el hormigón es incombustible, las losas de este material pueden utilizarse en todo tipo de construcción.

Vigas de hormigón
Las vigas de hormigón armado están diseñadas para que el hormigón trabaje conjuntamente con la armadura longitudinal y transversal para resistir las cargas aplicadas. Las vigas de hormigón in situ casi siempre se ejecutan junto con la losa que soportan. Debido a que una porción de la losa actúa como parte integral de la viga, el canto de la viga se calcula midiendo hasta la cara superior de la losa.

- Regla práctica para estimar el canto de la viga: Luz/16, incluyendo el canto de la losa, en tramos de 5 cm.
- La anchura de la viga será entre la mitad y un tercio del canto, en múltiplos de 5 o 7,5 cm.



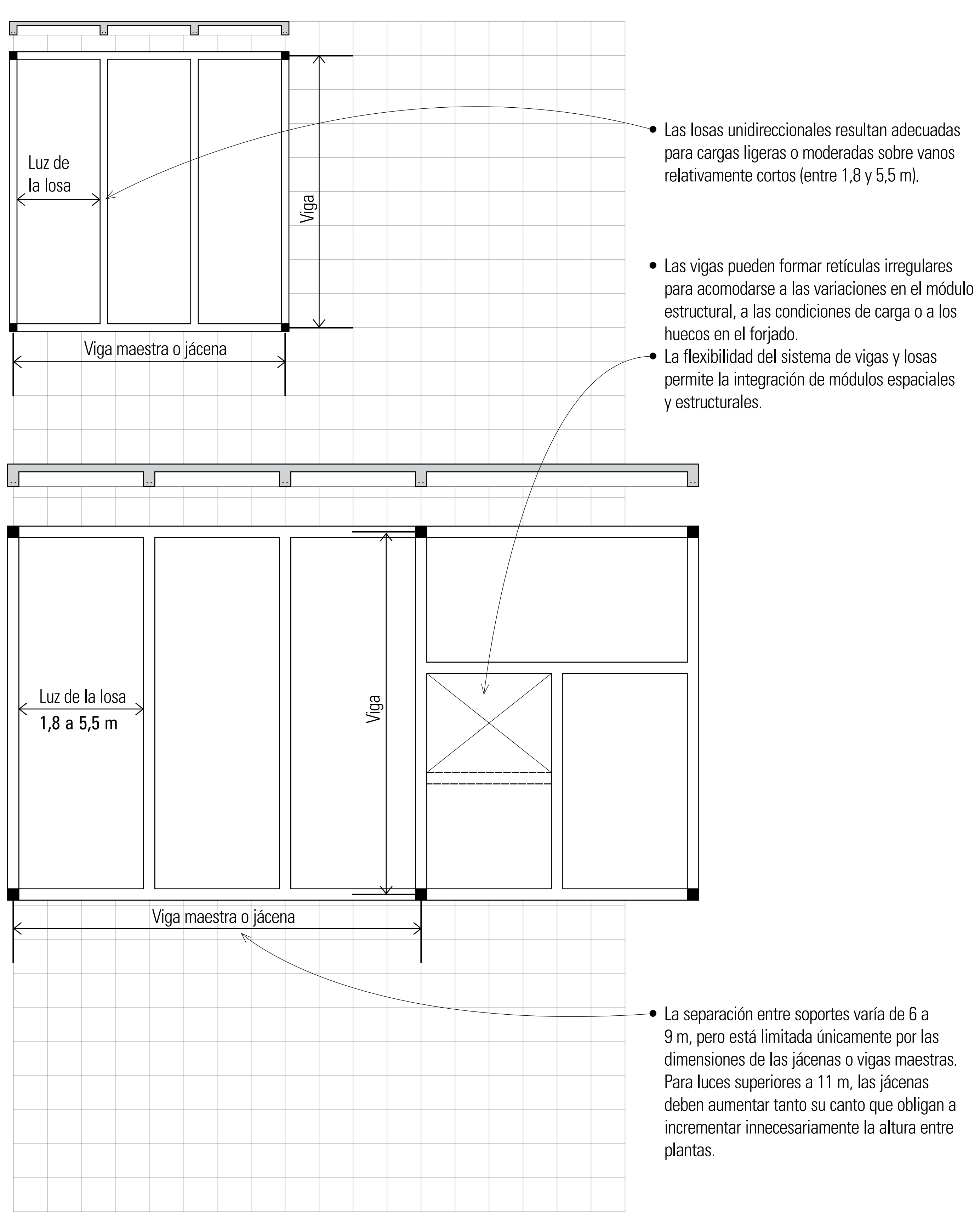
Losas unidireccionales
Las losas unidireccionales tienen un grosor constante y están armadas en una sola dirección entre los apoyos. Resultan adecuadas en situaciones de cargas ligeras o moderadas sobre luces relativamente pequeñas (entre 1,8 y 5,5 m).

Aunque las losas unidireccionales pueden apoyarse sobre muros de carga, de hormigón o albañilería, la solución más habitual consiste en ejecutarlas conjuntamente con vigas paralelas de soporte que, a su vez, apoyan sobre jácenas o muros de carga. Estas vigas permiten ampliar las luces de los vanos y la flexibilidad de toda la estructura.

- La dirección de la losa suele ser la más corta de un módulo rectangular.
- En esta dirección se disponen armaduras que asumen los esfuerzos de tracción.

- Es necesario disponer también armaduras transversales para asumir los esfuerzos de cortante, y una armadura mínima que asuma las contracciones y dilataciones por cambios de temperatura.
- Regla práctica para estimar el grosor de la losa: Luz/28 en forjados; mín. 10 cm. Luz/35 en cubiertas.
- La losa se apoya en dos lados sobre vigas o muros de carga paralelos.
- Las vigas, a su vez, se apoyan en jácenas, pilares o muros de carga.
- Las losas y las vigas se ejecutan conjuntamente, permitiendo que el grosor de la losa contribuya al canto de la viga, de forma que se reduzca el canto global del forjado.

- La continuidad entre soportes, vigas, losas y muros es necesaria para minimizar los esfuerzos de flexión en las conexiones.
- Las losas continuas sobre tres o más apoyos son más eficientes que las simples entre dos apoyos. Esta solución es fácil de ejecutar con hormigón in situ.
- Las vigas y las jácenas pueden extenderse más allá de la línea de pilares para configurar voladizos allí donde sea necesario.

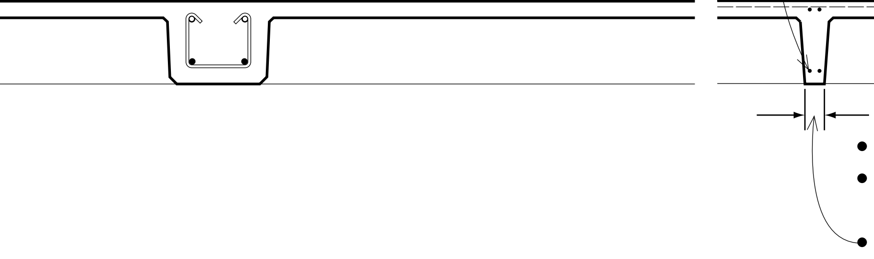


- Malla cuadrada de 3 pies de lado (unos 0,9 m).

Losas nervadas unidireccionales

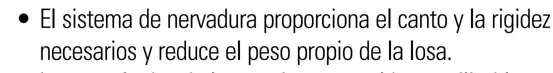
Las losas nervadas unidireccionales se ejecutan de una sola vez con una serie de viguetas o nervios muy próximos entre sí, soportados a su vez por una serie paralela de vigas. Diseñadas como vigas en T, las losas nervadas son más adecuadas para luces mayores y cargas más elevadas que las unidireccionales.

- Armadura a tracción en cada nervio.
- La losa debe contar con una armadura mínima de montaje y los correspondientes refuerzos para cortante.



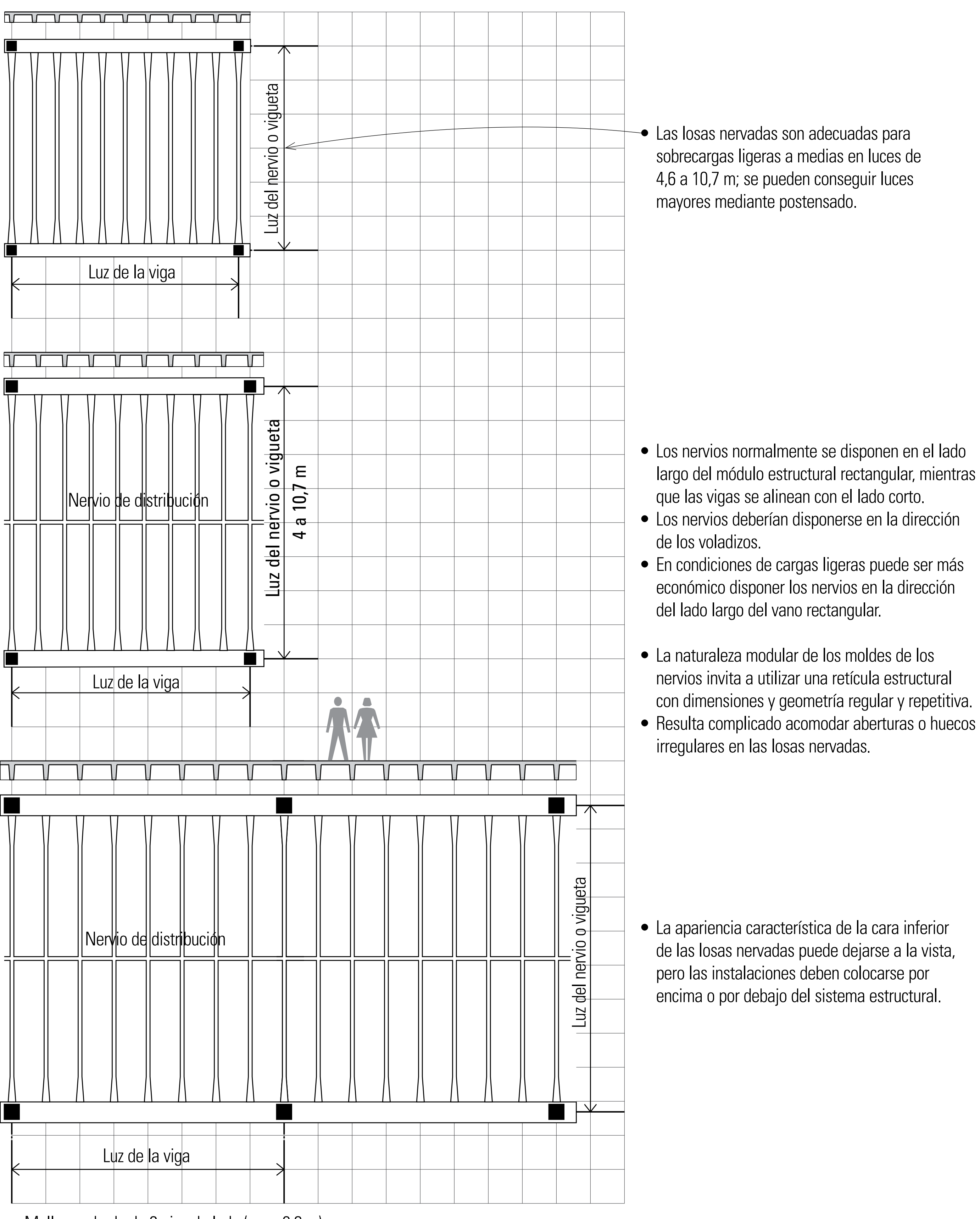
- Grosor de la losa: 7,5 a 12 cm.
- Regla práctica para el canto total: luz/24

- Anchura del nervio: 12,5 a 23 cm.



- El sistema de nervadura proporciona el canto y la rigidez necesarios y reduce el peso propio de la losa.
- Los encofrados de los nervios son moldes reutilizables de acero o fibra de vidrio, disponibles en anchuras de 50 a 75 cm y cantos de 15 a 50 cm, en intervalos de 5 cm. Las aristas biseladas facilitan el desmontaje.

- Las aristas biseladas permiten ensanchar los encuentros de los nervios con la viga y mejorar su resistencia a cortante.
- Los nervios que sobresalen por debajo pueden alinearse con las vigas de soporte.
- Es posible crear un sistema de módulos más ancho eliminando nervios alternos y regruesando la losa, lo cual da como resultado nervios con una distancia entre ejes de entre 1,5 y 1,8 m. Este sistema de nervios reducidos o módulo ancho es una solución económica y eficiente para luces mayores y cargas distribuidas ligeras o moderadas.
- Los nervios de distribución se disponen en perpendicular al resto, con el fin de distribuir las posibles concentraciones de carga sobre un área mayor. Se requiere disponer un nervio de distribución cada 6 o 9 m, y cada 4,5 m como máximo en el caso de luces superiores a 9 m.
- La forma más económica de ejecutar las vigas es aprovechar los propios moldes de la losa nervada manteniendo el canto de los nervios y aumentando la anchura.



- Las losas nervadas son adecuadas para sobrecargas ligeras a medias en luces de 4,6 a 10,7 m; se pueden conseguir luces mayores mediante postensado.

- Los nervios normalmente se disponen en el lado largo del módulo estructural rectangular, mientras que las vigas se alinean con el lado corto.
- Los nervios deberían disponerse en la dirección de los voladizos.
- En condiciones de cargas ligeras puede ser más económico disponer los nervios en la dirección del lado largo del vano rectangular.

- La naturaleza modular de los moldes de los nervios invita a utilizar una retícula estructural con dimensiones y geometría regular y repetitiva.
- Resulta complicado acomodar aberturas o huecos irregulares en las losas nervadas.

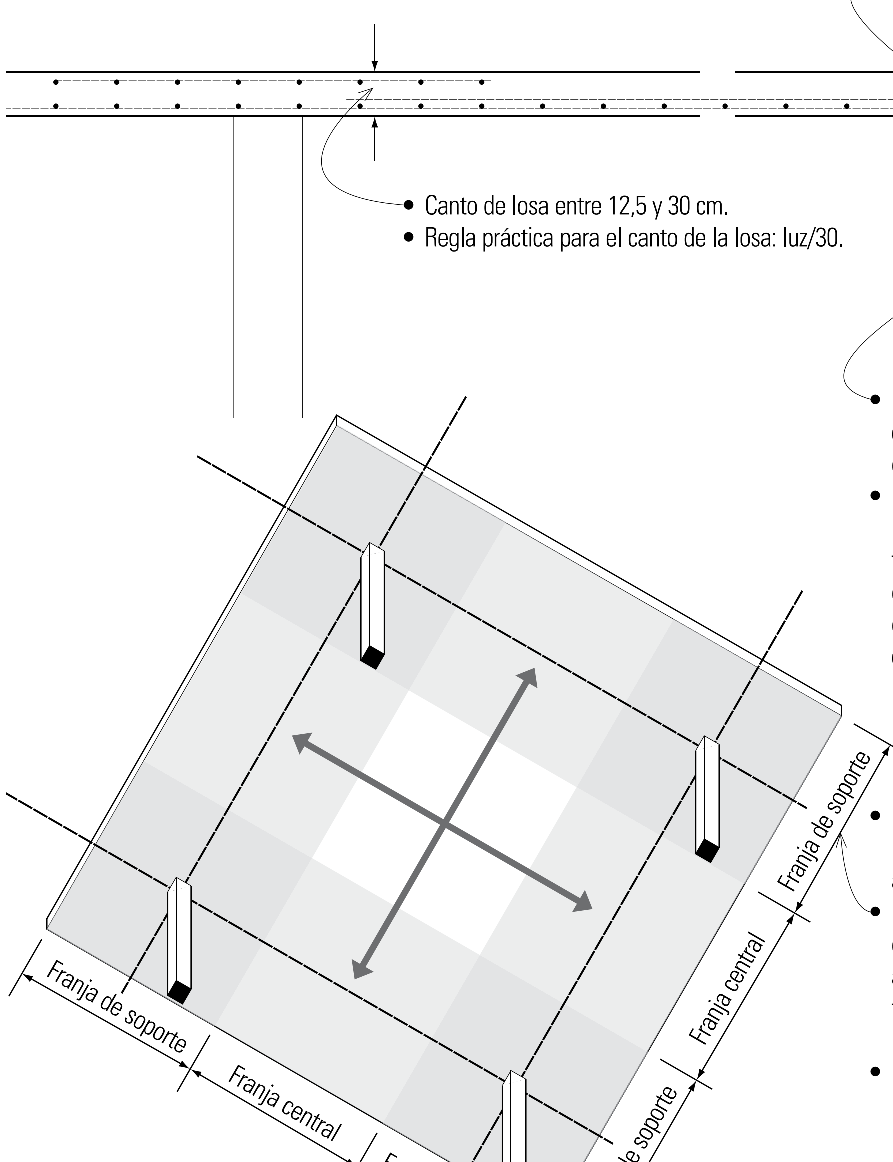
- La apariencia característica de la cara inferior de las losas nervadas puede dejarse a la vista, pero las instalaciones deben colocarse por encima o por debajo del sistema estructural.

- Malla cuadrada de 3 pies de lado (unos 0,9 m)

Losas planas

Las losas planas son losas de hormigón de canto constante con armadura en dos o más direcciones y apoyadas directamente sobre pilares sin vigas o jácenas. La simplicidad de la construcción, las alturas de planta reducidas y cierta flexibilidad en la posición de los soportes hacen de las losas planas una solución adecuada para la construcción de apartamentos y hoteles.

- Armadura a tracción

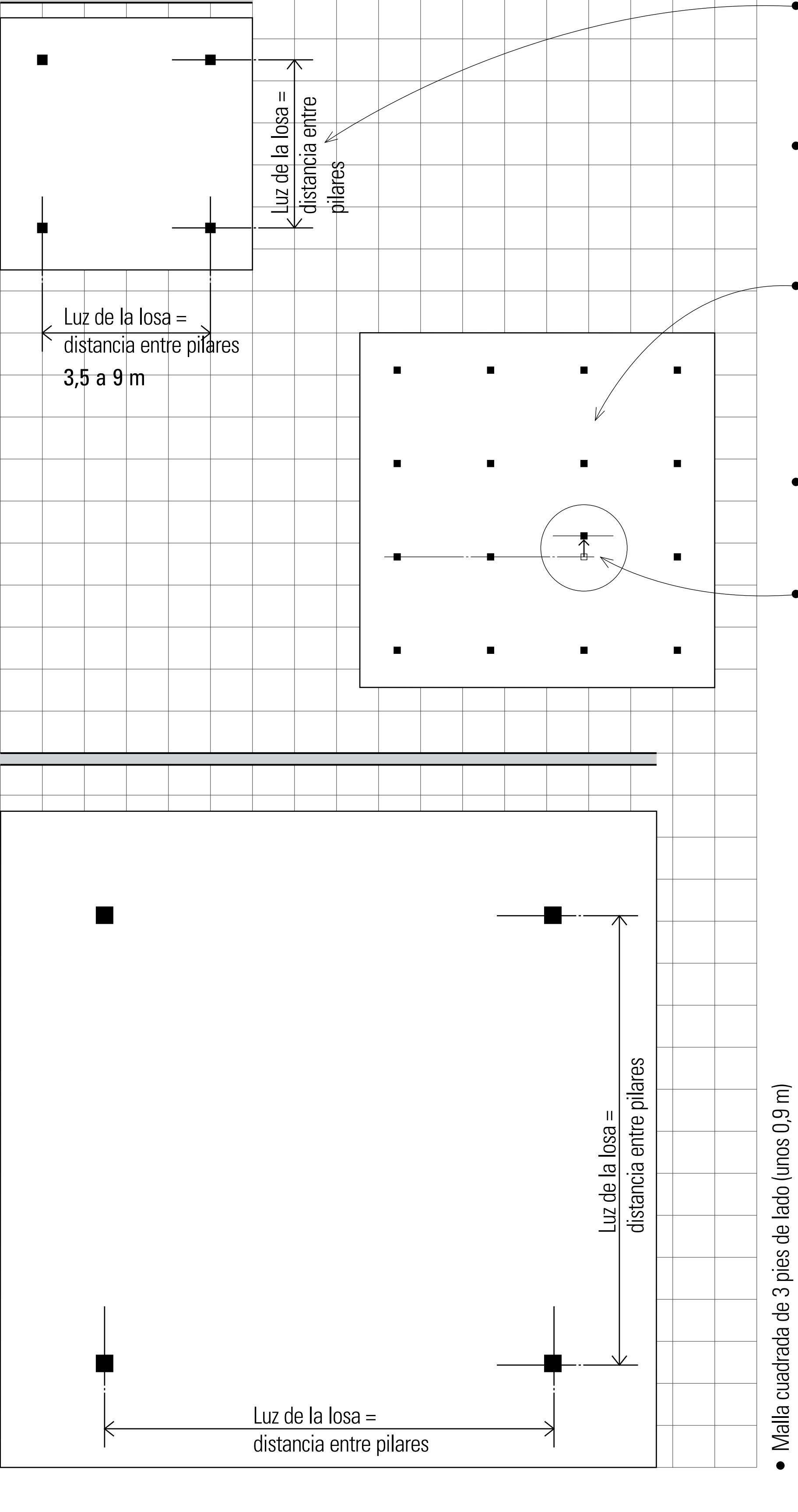


- Canto de losa entre 12,5 y 30 cm.
- Regla práctica para el canto de la losa: luz/30.

- El esfuerzo de punzonamiento es el resultado de la concentración de esfuerzos cortantes por la reacción del pilar sobre una losa de hormigón armado.
- La reducida área de la conexión de la losa con el pilar limita la capacidad de transferir momentos a este a través de la junta, y reduce la resistencia lateral. El tipo de unión también restringe las dimensiones mínimas del pilar. En la fase inicial de diseño, es recomendable contar con pilares cuadrados con una dimensión mínima del doble del canto de la losa que sostiene.

- Una armadura especialmente diseñada para absorber los esfuerzos cortantes cerca del soporte puede ayudar a reducir el canto de las losas planas.
- Las armaduras son más importantes en las franjas de los pilares para actuar como vigas planas. Las armaduras de la franja central son menores porque funciona principalmente como una losa.

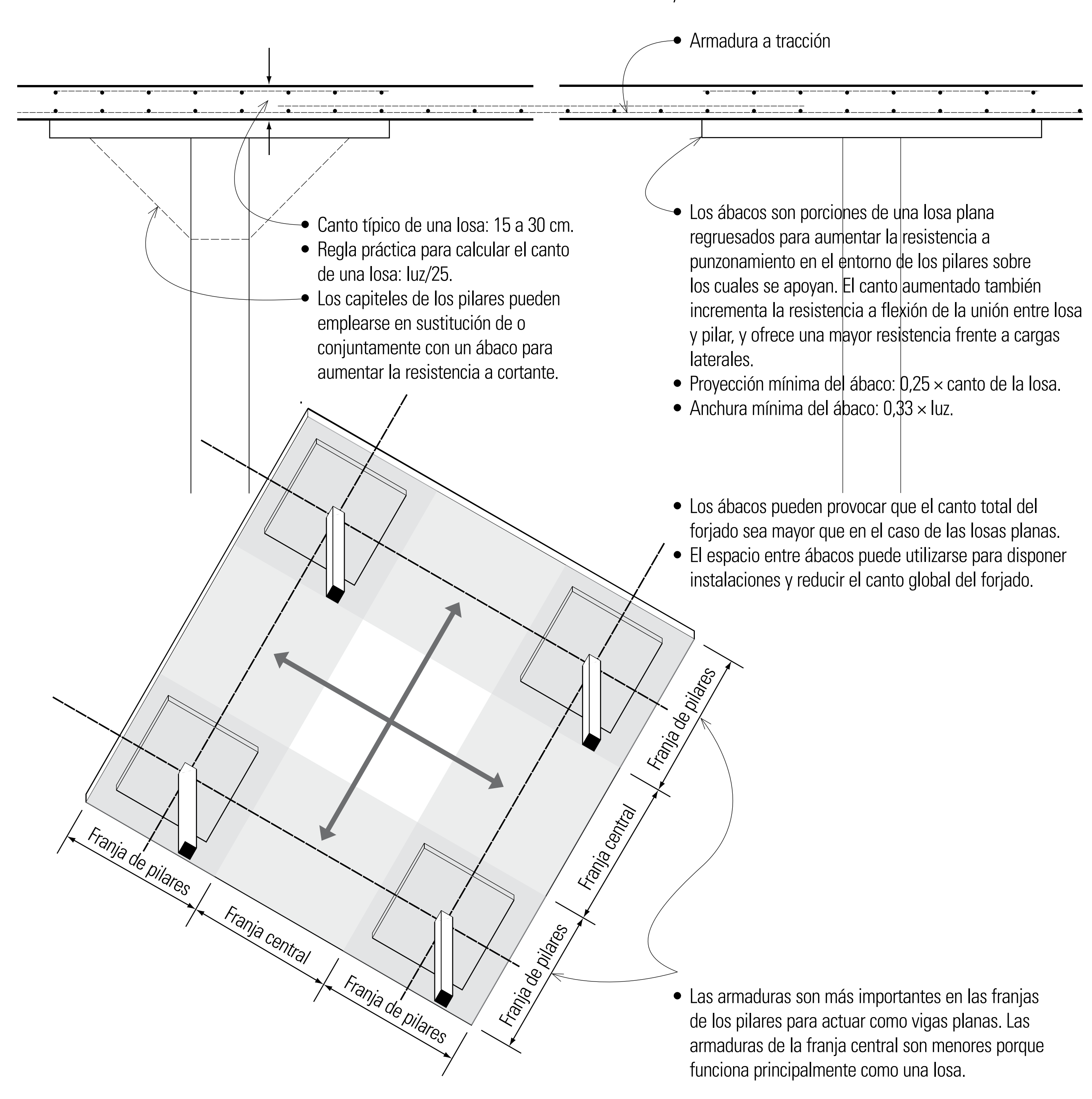
- La eliminación de vigas y viguetas ofrece flexibilidad para disponer las diversas instalaciones del edificio, pero se necesitará un falso techo para ocultarlas.

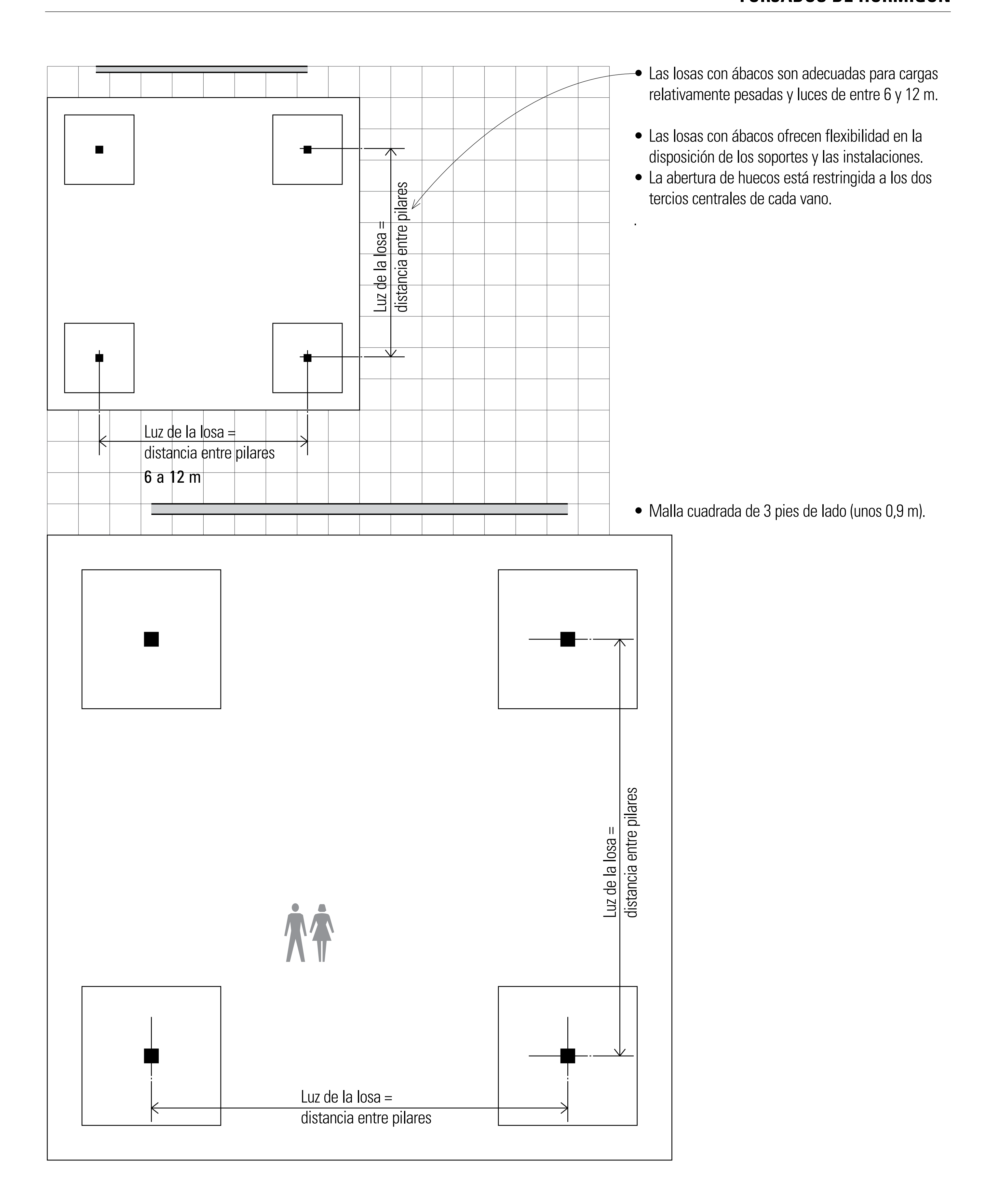


- Las losas planas resultan adecuadas para cargas ligeras o moderadas y luces relativamente cortas (entre 3,5 y 9 m). Se pueden cubrir luces mayores con postensado.
- Los sistemas bidireccionales son más eficientes cuando el vano es cuadrado o casi cuadrado. La relación entre el lado largo y el corto no debería superar 1,5:1.
- Para conseguir la máxima eficiencia, las losas planas deberían formar un forjado continuo de al menos tres vanos en ambas direcciones, mientras que la luz de los vanos contiguos nunca debería diferir en más de un tercio de la luz mayor.
- Aunque una retícula regular de pilares sería la disposición más adecuada, hay cierta flexibilidad en la posición de los pilares.
- Los pilares pueden estar desplazados hasta un 10 % de la luz respecto de los ejes regulares de pilares, pero cualquier desplazamiento debería repetirse en todas las plantas para mantener la alineación en vertical.

Losas con ábacos

Las losas con ábacos o capiteles son losas de canto constante regruesadas en el entorno de los soportes para mejorar su resistencia frente a esfuerzos cortantes y flectores.





- Las losas con ábacos son adecuadas para cargas relativamente pesadas y luces de entre 6 y 12 m.

- Las losas con ábacos ofrecen flexibilidad en la disposición de los soportes y las instalaciones.
- La abertura de huecos está restringida a los dos tercios centrales de cada vano.

.

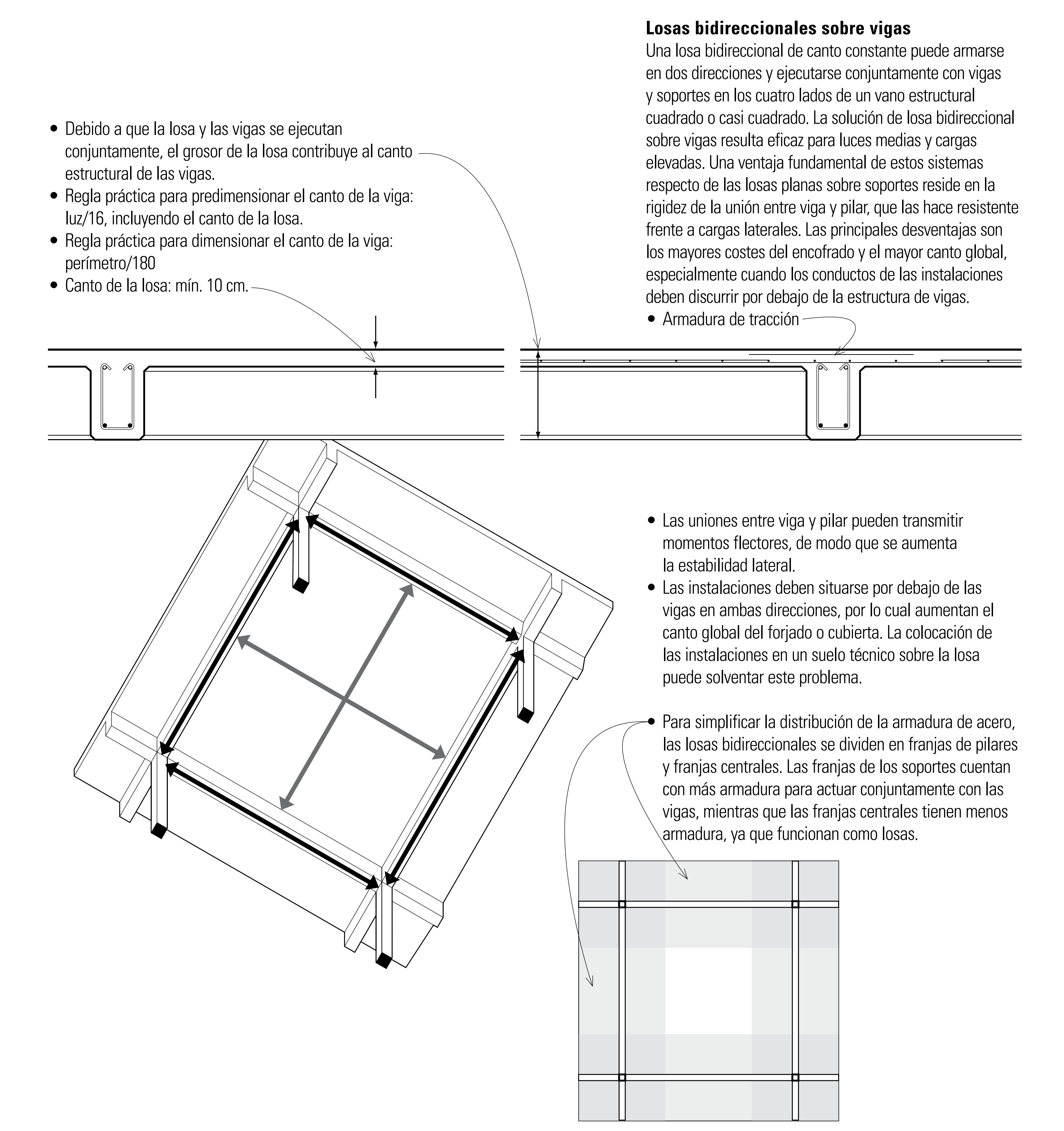
- Malla cuadrada de 3 pies de lado (unos 0,9 m).

Losas bidireccionales sobre vigas

Una losa bidireccional de canto constante puede armarse en dos direcciones y ejecutarse conjuntamente con vigas y soportes en los cuatro lados de un vano estructural cuadrado o casi cuadrado. La solución de losa bidireccional sobre vigas resulta eficaz para luces medias y cargas elevadas. Una ventaja fundamental de estos sistemas respecto de las losas planas sobre soportes reside en la rigidez de la unión entre viga y pilar, que las hace resistente frente a cargas laterales. Las principales desventajas son los mayores costes del encofrado y el mayor canto global, especialmente cuando los conductos de las instalaciones deben discurrir por debajo de la estructura de vigas.

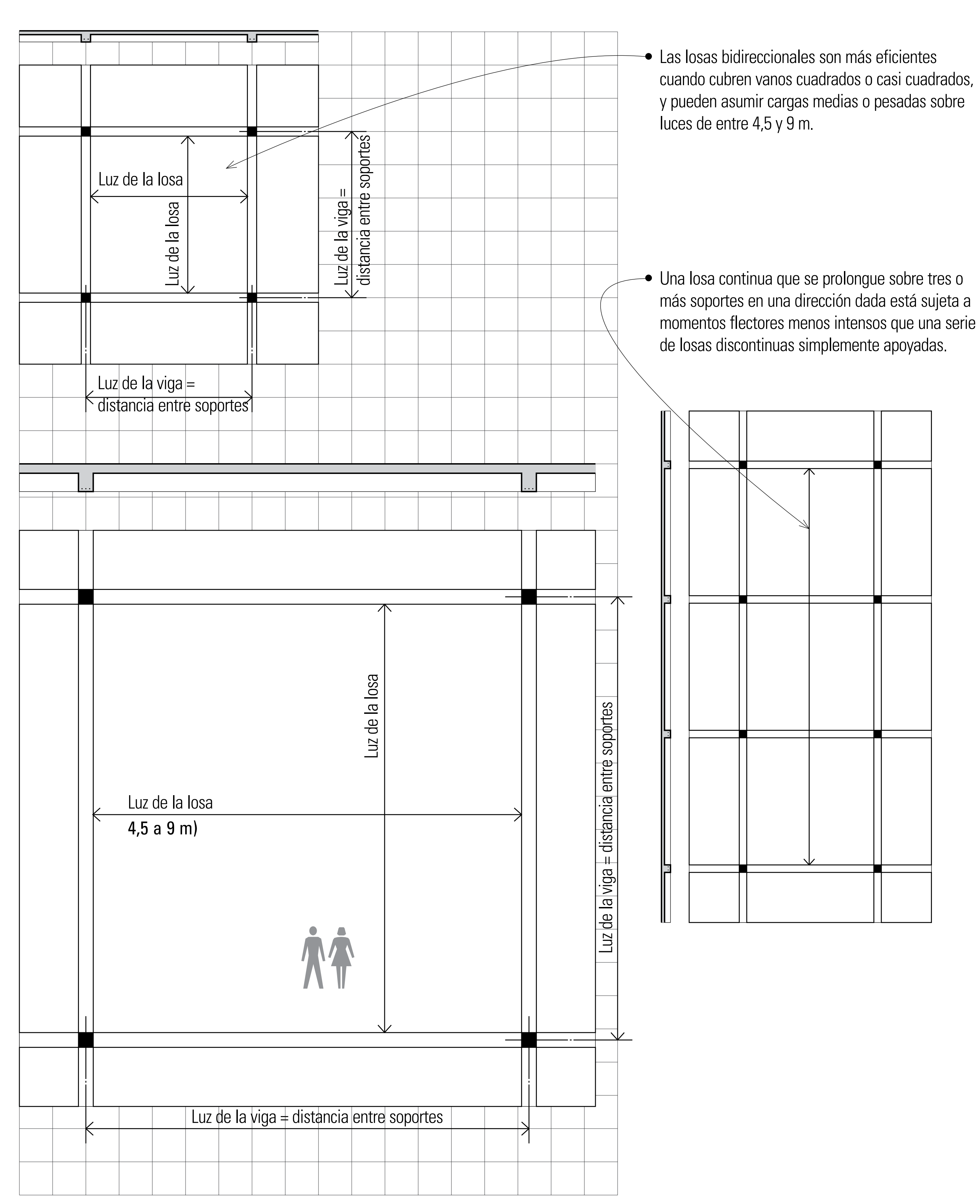
- Armadura de tracción

- Debido a que la losa y las vigas se ejecutan conjuntamente, el grosor de la losa contribuye al canto estructural de las vigas.
- Regla práctica para predimensionar el canto de la viga: luz/16, incluyendo el canto de la losa.
- Regla práctica para dimensionar el canto de la viga: perímetro/180
- Canto de la losa: mín. 10 cm.



- Las uniones entre viga y pilar pueden transmitir momentos flectores, de modo que se aumenta la estabilidad lateral.
- Las instalaciones deben situarse por debajo de las vigas en ambas direcciones, por lo cual aumentan el canto global del forjado o cubierta. La colocación de las instalaciones en un suelo técnico sobre la losa puede solventar este problema.

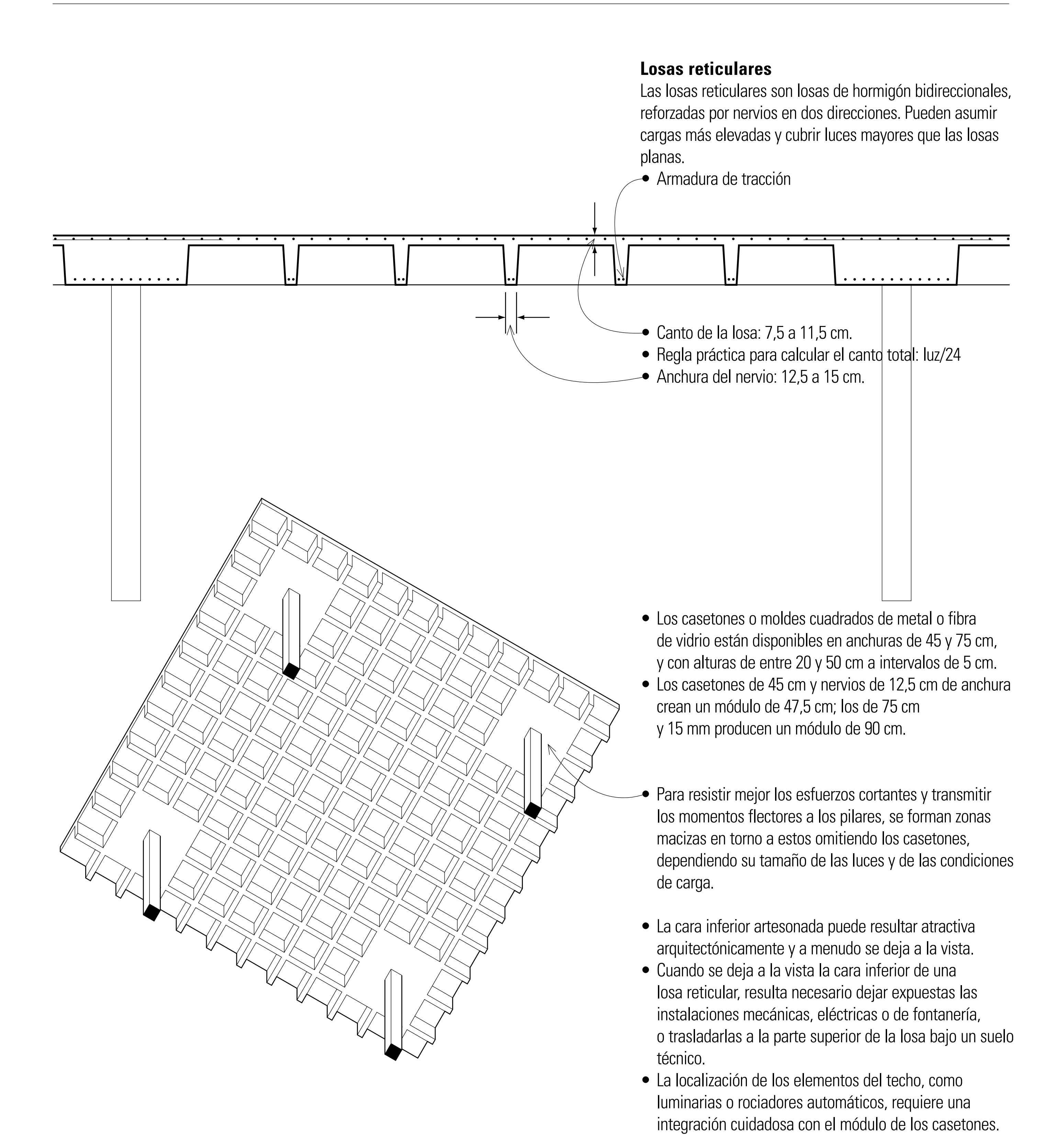
- Para simplificar la distribución de la armadura de acero, las losas bidireccionales se dividen en franjas de pilares y franjas centrales. Las franjas de los soportes cuentan con más armadura para actuar conjuntamente con las vigas, mientras que las franjas centrales tienen menos armadura, ya que funcionan como losas.



- Las losas bidireccionales son más eficientes cuando cubren vanos cuadrados o casi cuadrados, y pueden asumir cargas medias o pesadas sobre luces de entre 4,5 y 9 m.

- Una losa continua que se prolongue sobre tres o más soportes en una dirección dada está sujeta a momentos flectores menos intensos que una serie de losas discontinuas simplemente apoyadas.

- Malla cuadrada de 3 pies de anchura (unos 0,9 m).



Losas reticulares

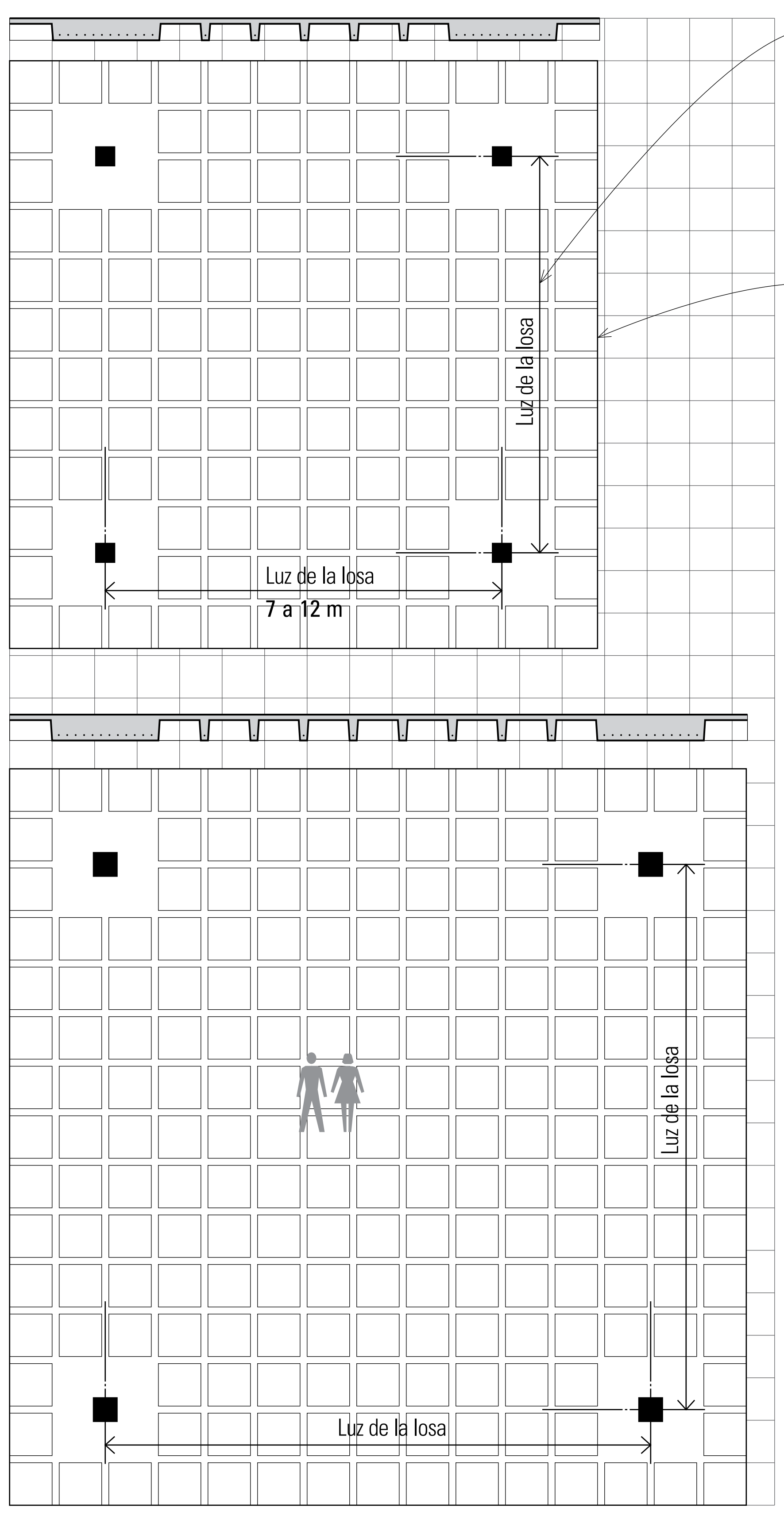
Las losas reticulares son losas de hormigón bidireccionales, reforzadas por nervios en dos direcciones. Pueden asumir cargas más elevadas y cubrir luces mayores que las losas planas.

- Armadura de tracción
- Canto de la losa: 7,5 a 11,5 cm.
- Regla práctica para calcular el canto total: luz/24
- Anchura del nervio: 12,5 a 15 cm.

- Los casetones o moldes cuadrados de metal o fibra de vidrio están disponibles en anchuras de 45 y 75 cm, y con alturas de entre 20 y 50 cm a intervalos de 5 cm.
- Los casetones de 45 cm y nervios de 12,5 cm de anchura crean un módulo de 47,5 cm; los de 75 cm y 15 mm producen un módulo de 90 cm.

- Para resistir mejor los esfuerzos cortantes y transmitir los momentos flectores a los pilares, se forman zonas macizas en torno a estos omitiendo los casetones, dependiendo su tamaño de las luces y de las condiciones de carga.

- La cara inferior artesonada puede resultar atractiva arquitectónicamente y a menudo se deja a la vista.
- Cuando se deja a la vista la cara inferior de una losa reticular, resulta necesario dejar expuestas las instalaciones mecánicas, eléctricas o de fontanería, o trasladarlas a la parte superior de la losa bajo un suelo técnico.
- La localización de los elementos del techo, como luminarias o rociadores automáticos, requiere una integración cuidadosa con el módulo de los casetones.



- La construcción nervada produce sistemas de hormigón relativamente ligeros para cubrir luces de 7 a 12 m; se pueden alcanzar luces de hasta 18 m mediante postensado.

- Para lograr la máxima eficiencia, los vanos estructurales deberían ser cuadrados o aproximarse lo más posible.
- Las losas reticulares pueden presentar voladizos en ambas direcciones, con vuelos de hasta un tercio de la luz principal. Cuando no hay voladizos, puede conformarse un zuncho perimetral omitiendo los casetones de la franja de borde.

- La naturaleza modular del sistema de casetones invita a utilizar una retícula estructural de dimensiones y geometría regular y repetitiva.

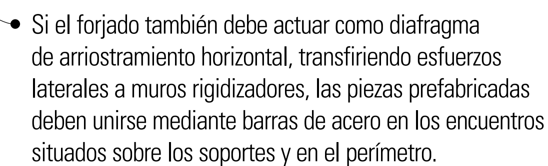
- Malla cuadrada de 3 pies de lado (unos 0,9 m).

Losas prefabricadas de hormigón

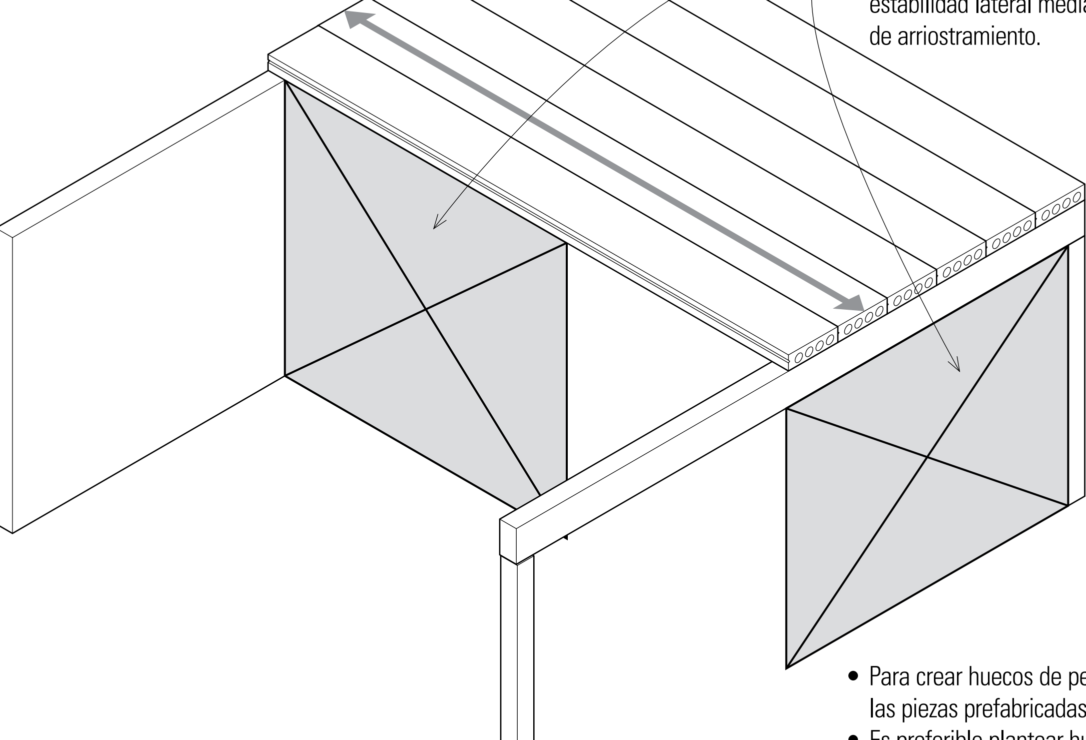
Las losas prefabricadas de hormigón son piezas unidireccionales de forjado que pueden apoyarse sobre muros de carga de hormigón in situ, hormigón prefabricado o fábrica, o sobre entramados de acero u hormigón, in situ o prefabricados. Las piezas prefabricadas se producen en hormigón convencional o aligerado y se pretensan para mejorar su eficiencia estructural, lo cual da como resultado forjados de menor canto y peso, capaces de cubrir mayores luces.

Las piezas prefabricadas se moldean y fraguan en fábrica, posteriormente se transportan a la obra y se colocan en su posición definitiva mediante grúas. El tamaño y las proporciones de las piezas puede estar limitado por los medios de transporte. La producción en el entorno controlado de una fábrica permite que las piezas presenten una alta calidad en términos de resistencia, durabilidad y acabado, evitando la necesidad de encofrar en obra.

- Una capa de compresión de hormigón armado de entre 5 y 9 cm, unida a las piezas prefabricadas mediante una malla o una serie de barras de acero, garantiza que el conjunto actúe como una unidad estructural.
- La capa de compresión también oculta cualquier irregularidad de la superficie, aumenta la resistencia frente al fuego de la losa y puede alojar canaletas de cableado bajo el solado.

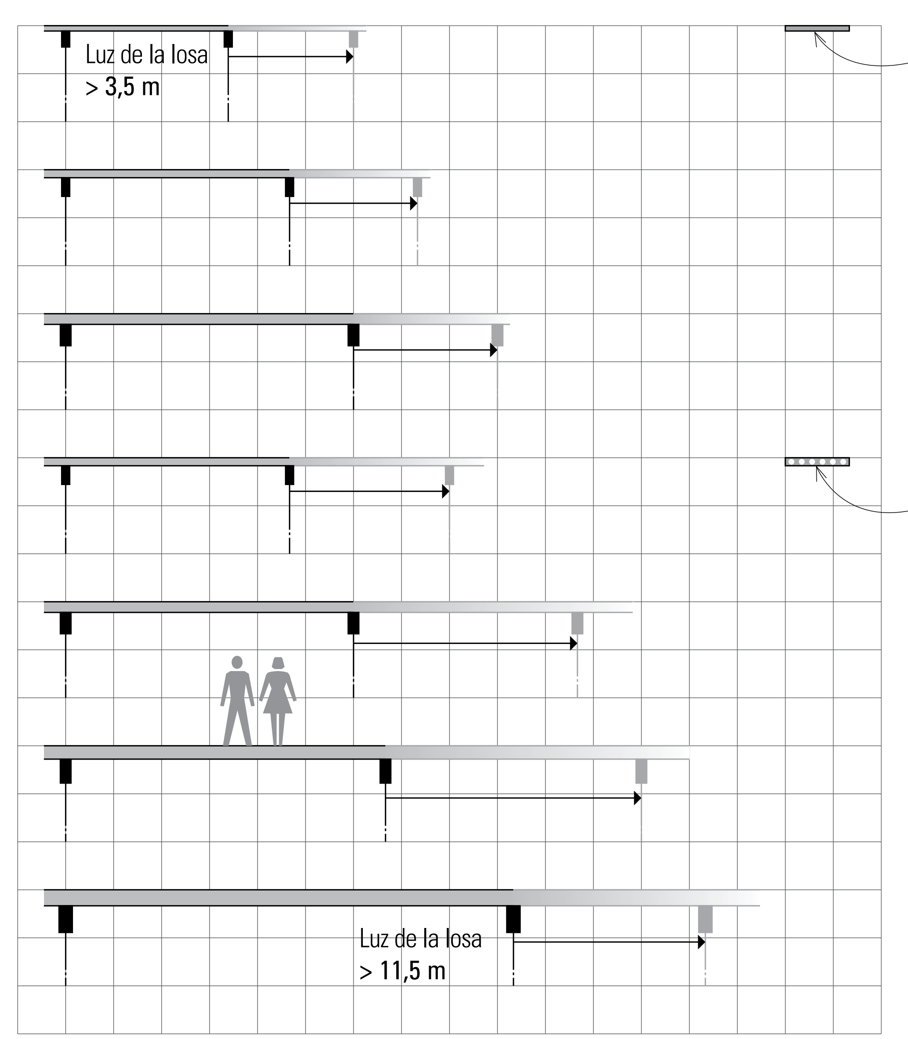


- Junta de mortero
- Si el forjado también debe actuar como diafragma de arriostramiento horizontal, transfiriendo esfuerzos laterales a muros rigidizadores, las piezas prefabricadas deben unirse mediante barras de acero en los encuentros situados sobre los soportes y en el perímetro.
- Por la dificultad de establecer uniones rígidas que transmitan momentos flectores, debe proporcionarse estabilidad lateral mediante triangulaciones o muros de arriostramiento.



- Para crear huecos de pequeñas dimensiones, las piezas prefabricadas pueden recortarse en obra.
- Es preferible plantear huecos estrechos y paralelos a la dirección de las piezas. Los grandes huecos en el forjado necesitan un cálculo estructural específico.

- La resistencia frente al fuego y los acabados de calidad permiten que la cara inferior de las losas prefabricadas sean calafateadas o pintadas y quedar a la vista; también puede aplicarse un acabado específico a esta cara inferior o colgar un falso techo.
- Cuando la cara inferior de las piezas prefabricadas queda a la vista, también quedan expuestas todas las instalaciones mecánicas, eléctricas y de fontanería.

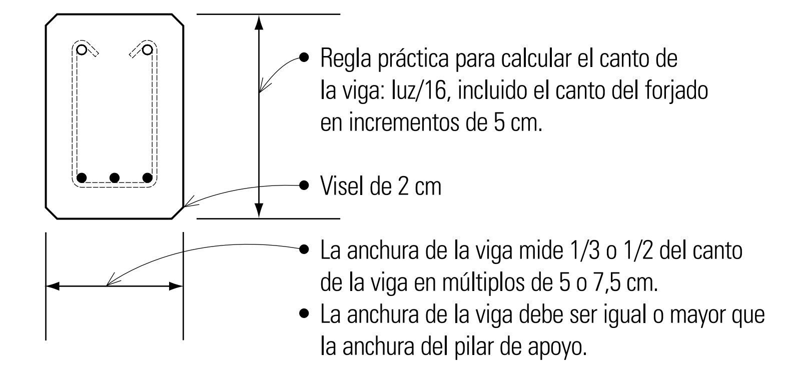


- Malla cuadrada de 3 pies de lado (unos 0,9 m).

Losas macizas
- Anchura normalizada: 120 cm; las dimensiones exactas varían para proporcionar espacio para el armado y las juntas de mortero.
- Cantos disponibles: 10, 15, 20 cm.
- Rango de luces: de 3,5 a 7 m.
- Regla práctica para calcular el canto: luz/40.

Losas aligeradas
- Anchura normalizada: 120 cm.
- También disponible en anchuras de 40, 60, 100 y 240 cm.
- Cantos de 15, 20, 25 y 30 cm.
- Rango de luces: de 3,5 a 11,5 m.
- Regla práctica para calcular el canto: luz/40.
- Las cavidades continuas reducen el peso y los costes, además pueden utilizarse para alojar las instalaciones.

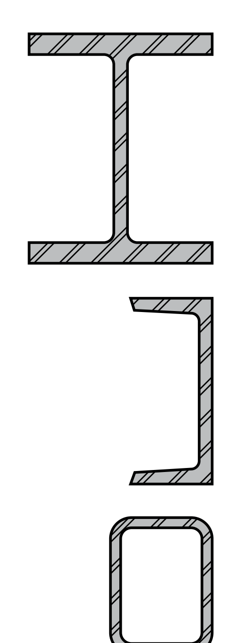
- Los sistemas de piezas prefabricadas de hormigón dependen de la repetición de forjados y cubiertas de áreas mínimas de 140 m^2 para resultar rentables.
- La normalización dimensional de estas piezas recomienda la utilización de un módulo estructural basado en la anchura de la pieza. Su uso en plantas irregulares puede plantear problemas



- Regla práctica para calcular el canto de la viga: luz/16, incluido el canto del forjado en incrementos de 5 cm.
- Visel de 2 cm
- La anchura de la viga mide 1/3 o 1/2 del canto de la viga en múltiplos de 5 o 7,5 cm.
- La anchura de la viga debe ser igual o mayor que la anchura del pilar de apoyo.

Pórticos de acero
Las vigas, las jácenas, las cerchas y los pilares de acero se emplean para construir entramados estructurales que soportan desde edificios de una planta hasta rascacielos. Puesto que resulta complicado trabajar el acero en obra, habitualmente se corta, conforma y perfora en taller siguiendo las especificaciones del proyecto; este procedimiento puede proporcionar un resultado relativamente rápido y preciso para construir un entramado estructural.

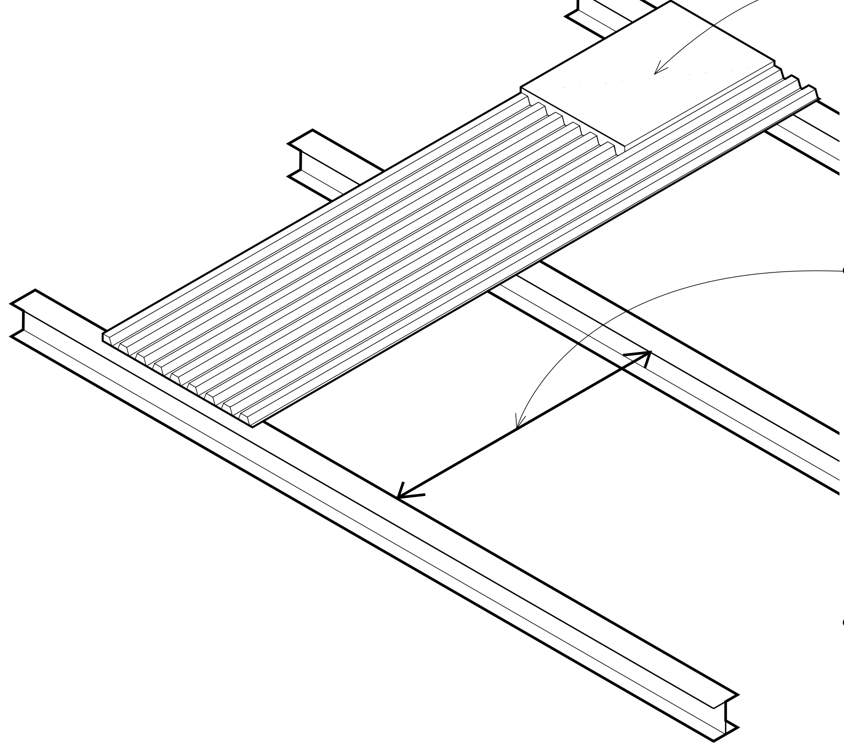
El acero puede dejarse expuesto en construcciones incombustibles no protegidas, pero debido a que puede ver mermada su resistencia muy rápidamente en un incendio, se requieren revestimientos y juntas resistentes al fuego para poder calificar una estructura de acero como resistente al fuego. En caso de estar expuesto, también es necesario un tratamiento de protección frente a la corrosión.



Vigas y jácenas de acero
- Los perfiles IPE de alma ancha, más eficientes desde un punto de vista estructural, han sustituido en gran medida a los IPN clásicos. Las vigas también pueden ser de sección tubular, en U o secciones compuestas.
- Las uniones suelen recurrir a elementos de conexión, como ángulos, perfiles en T o pletinas de acero. En la actualidad aún hay conexiones roblonadas, pero las más habituales son las atornilladas o soldadas.

- El rango habitual de luces para vigas de acero va de 6 a 12 m; para luces de más de 10 m, las viguetas de alma abierta también pueden constituir una alternativa económica por su peso reducido.
- Regla práctica para estimar el canto de una viga:
  Vigas de acero: luz/20
  Jácenas de acero: luz/15
- Anchura de la viga: entre 1/3 y 1/2 del canto

- El objetivo general consiste en utilizar el perfil de acero más ligero que cumpla los requisitos de resistencia a flexión y cortante dentro de los límites tolerables de tensión y de flecha según los usos previstos.
- Además del coste de los materiales, también hay que tener en cuenta los de puesta en obra.
- Un forjado o una cubierta pueden conformarse mediante:
  - Chapa de acero
  - Elementos prefabricados de hormigón
  - Tableros de madera estructural, que requieren una capa superior perforable.



- Las vigas en I o las viguetas de alma abierta que soportan forjados o cubiertas se sitúan a distancias entre 1,2 y 5 m entre ejes según la magnitud de la carga aplicada y de la luz que pueda salvar el propio tablero del forjado.

- Para resistir los esfuerzos laterales debidos al viento o a terremotos es preciso disponer de muros o barras de arriostramiento, o entramados con nudos rígidos capaces de transmitir momentos flectores.

Viguetas de alma abierta

Las viguetas de alma abierta son elementos ligeros de acero fabricados en taller con un alma en forma de cercha. Proporcionan una alternativa económica a los perfiles de acero en el caso de cargas distribuidas ligeras o moderadas, especialmente en luces superiores a 10 m. Si se calculan adecuadamente, pueden admitir cargas concentradas sobre los nudos de las viguetas.

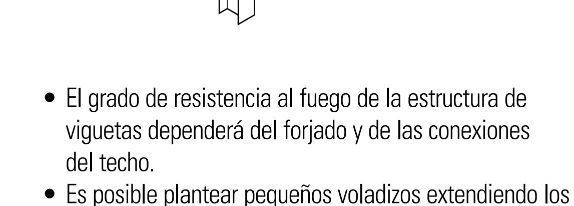
- Los entramados funcionan más eficientemente cuando las viguetas soportan cargas uniformemente distribuidas. Si se calculan adecuadamente, pueden admitir cargas concentradas sobre los nudos de las viguetas.
- Las almas abiertas permiten el paso de instalaciones.
- Los techos pueden fijarse o colgarse del cordón inferior si se necesita un espacio adicional para las instalaciones; también puede omitirse el techo y dejar a la vista las viguetas y la cara inferior del forjado.

- Las viguetas de la serie K tienen almas consistentes en una sola barra plegada en zigzag que une los cordones superior e inferior.
- Cantos entre 20 y 75 cm.

- Las series LH y DLH (para luces grandes y muy grandes) tienen cordones y alma más pesados para soportar mayores cargas y cubrir luces mayores.
- Cantos de las viguetas de la serie LH: 45 a 120 cm.
- Cantos de las viguetas de la serie DLH: 130 a 180 cm.

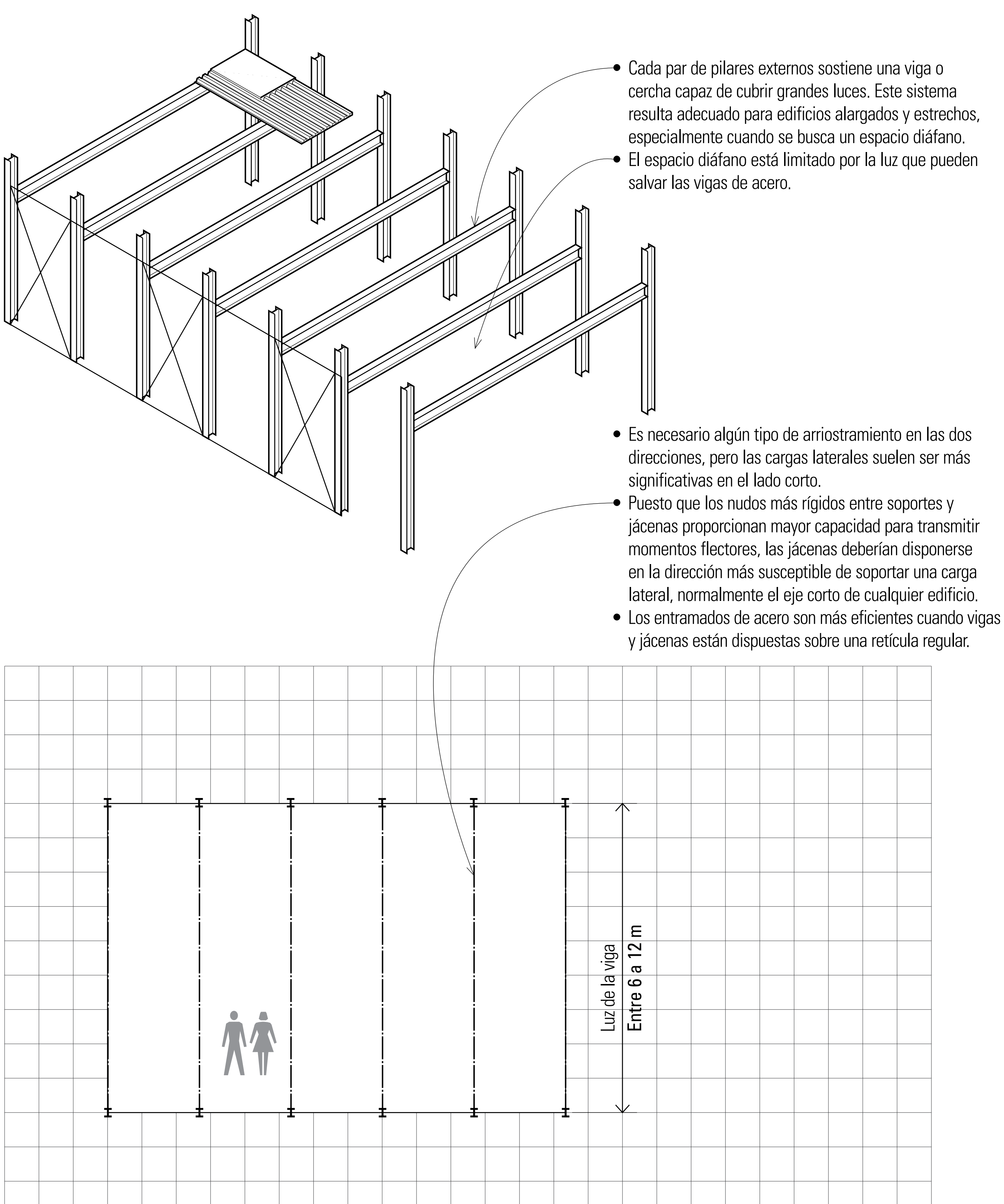
- Rango de luces para viguetas de alma abierta: 3,5 a 18 m.
- Regla práctica para estimar el canto de una vigueta de alma abierta: luz/24.

- Separación de 0,6 a 3 m; en edificios grandes es habitual una separación de 1,2 m.
- Son necesarios arriostramientos horizontales o diagonales para evitar el movimiento lateral de los cordones de las viguetas.
- El arriostramiento se situará a distancias de entre 3 y 6 m a ejes, según la luz y la sección del cordón.



- El grado de resistencia al fuego de la estructura de viguetas dependerá del forjado y de las conexiones del techo.
- Es posible plantear pequeños voladizos extendiendo los cordones superiores.
- Las viguetas de alma abierta pueden apoyarse sobre vigas o cerchas —una versión más pesada de las propias viguetas—, muros de carga de albañilería u hormigón armado, o sobre entramados ligeros de acero.

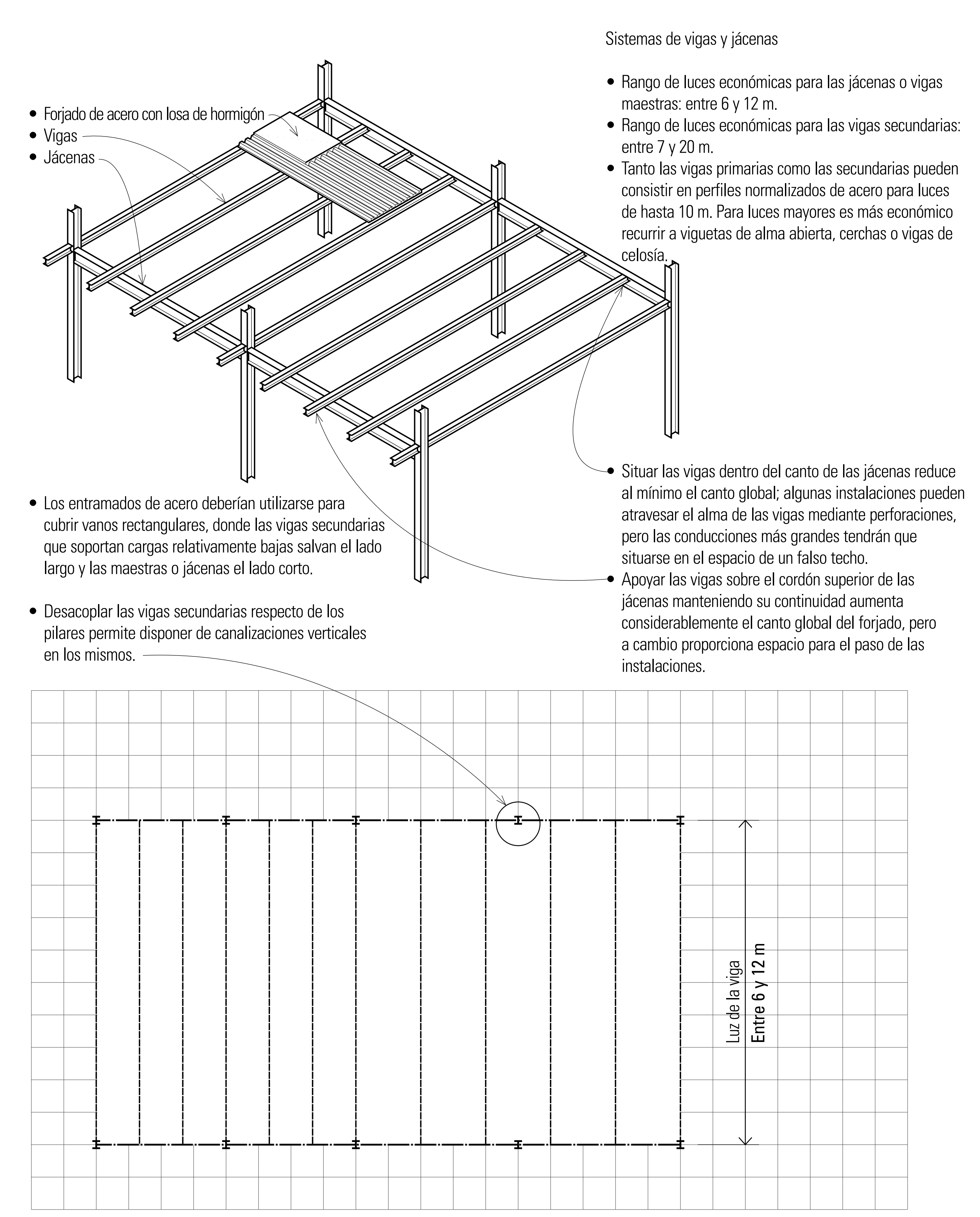
Sistema unidireccional de vigas



- Cada par de pilares externos sostiene una viga o cercha capaz de cubrir grandes luces. Este sistema resulta adecuado para edificios alargados y estrechos, especialmente cuando se busca un espacio diáfano.
- El espacio diáfano está limitado por la luz que pueden salvar las vigas de acero.

- Es necesario algún tipo de arriostramiento en las dos direcciones, pero las cargas laterales suelen ser más significativas en el lado corto.
- Puesto que los nudos más rígidos entre soportes y jácenas proporcionan mayor capacidad para transmitir momentos flectores, las jácenas deberían disponerse en la dirección más susceptible de soportar una carga lateral, normalmente el eje corto de cualquier edificio.
- Los entramados de acero son más eficientes cuando vigas y jácenas están dispuestas sobre una retícula regular.

- Malla cuadrada de 3 pies de lado (unos 0,9 m).



Sistemas de vigas y jácenas

- Rango de luces económicas para las jácenas o vigas maestras: entre 6 y 12 m.
- Rango de luces económicas para las vigas secundarias: entre 7 y 20 m.
- Tanto las vigas primarias como las secundarias pueden consistir en perfiles normalizados de acero para luces de hasta 10 m. Para luces mayores es más económico recurrir a viguetas de alma abierta, cerchas o vigas de celosía.

- Forjado de acero con losa de hormigón
- Vigas
- Jácenas

- Situar las vigas dentro del canto de las jácenas reduce al mínimo el canto global; algunas instalaciones pueden atravesar el alma de las vigas mediante perforaciones, pero las conducciones más grandes tendrán que situarse en el espacio de un falso techo.
- Apoyar las vigas sobre el cordón superior de las jácenas manteniendo su continuidad aumenta considerablemente el canto global del forjado, pero a cambio proporciona espacio para el paso de las instalaciones.

- Los entramados de acero deberían utilizarse para cubrir vanos rectangulares, donde las vigas secundarias que soportan cargas relativamente bajas salvan el lado largo y las maestras o jácenas el lado corto.

- Desacoplar las vigas secundarias respecto de los pilares permite disponer de canalizaciones verticales en los mismos.

- Malla cuadrada de 3 pies de lado (unos 0,9 m).

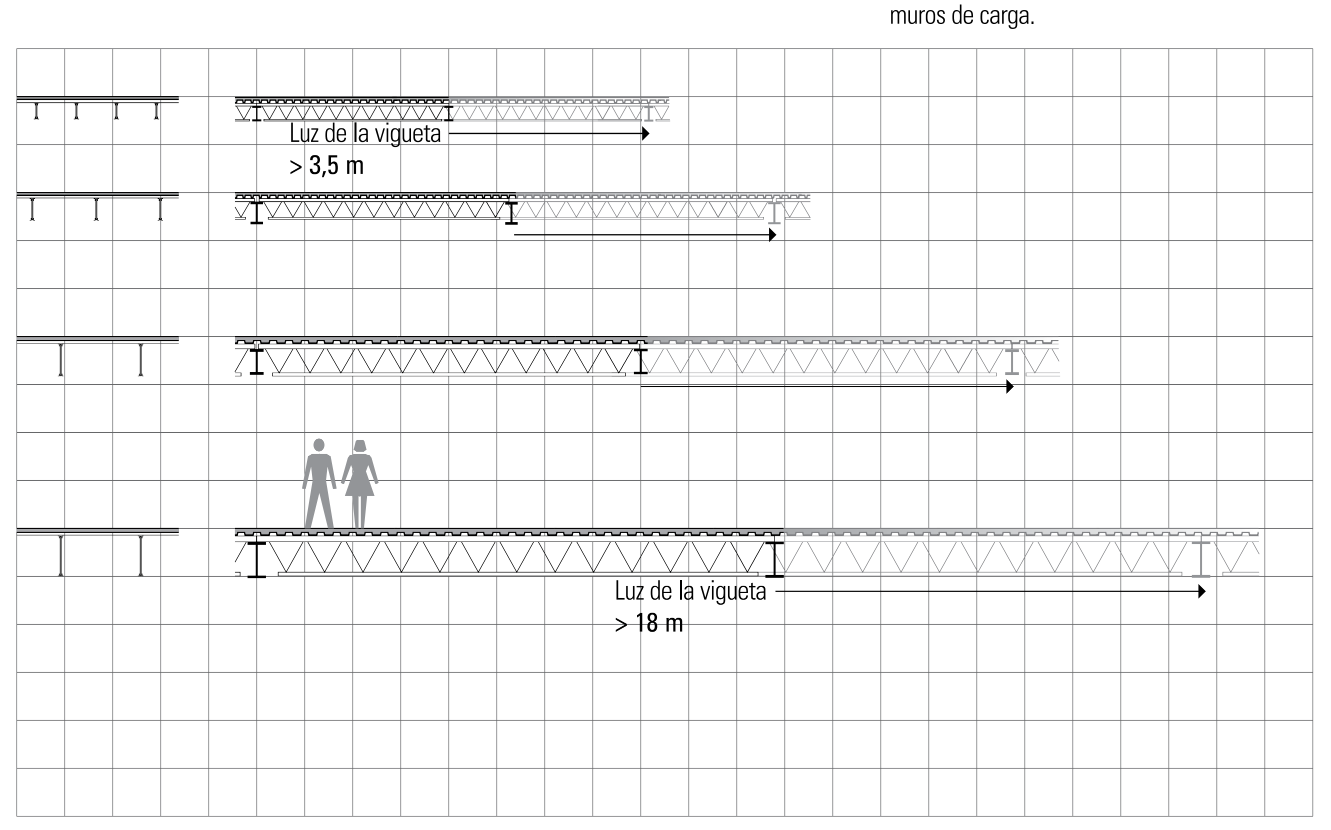
Sistema de cerchas o vigas de celosía

- Debido a sus cantos y longitudes normalizados, las viguetas de alma abierta deberían utilizarse para cubrir módulos rectangulares.

- Las viguetas de las series LH y DLH se denominan vigas de celosía cuando se utilizan para apoyar una serie de viguetas de alma abierta.

- Las vigas de celosía y las viguetas de alma abierta comparten el mismo plano.

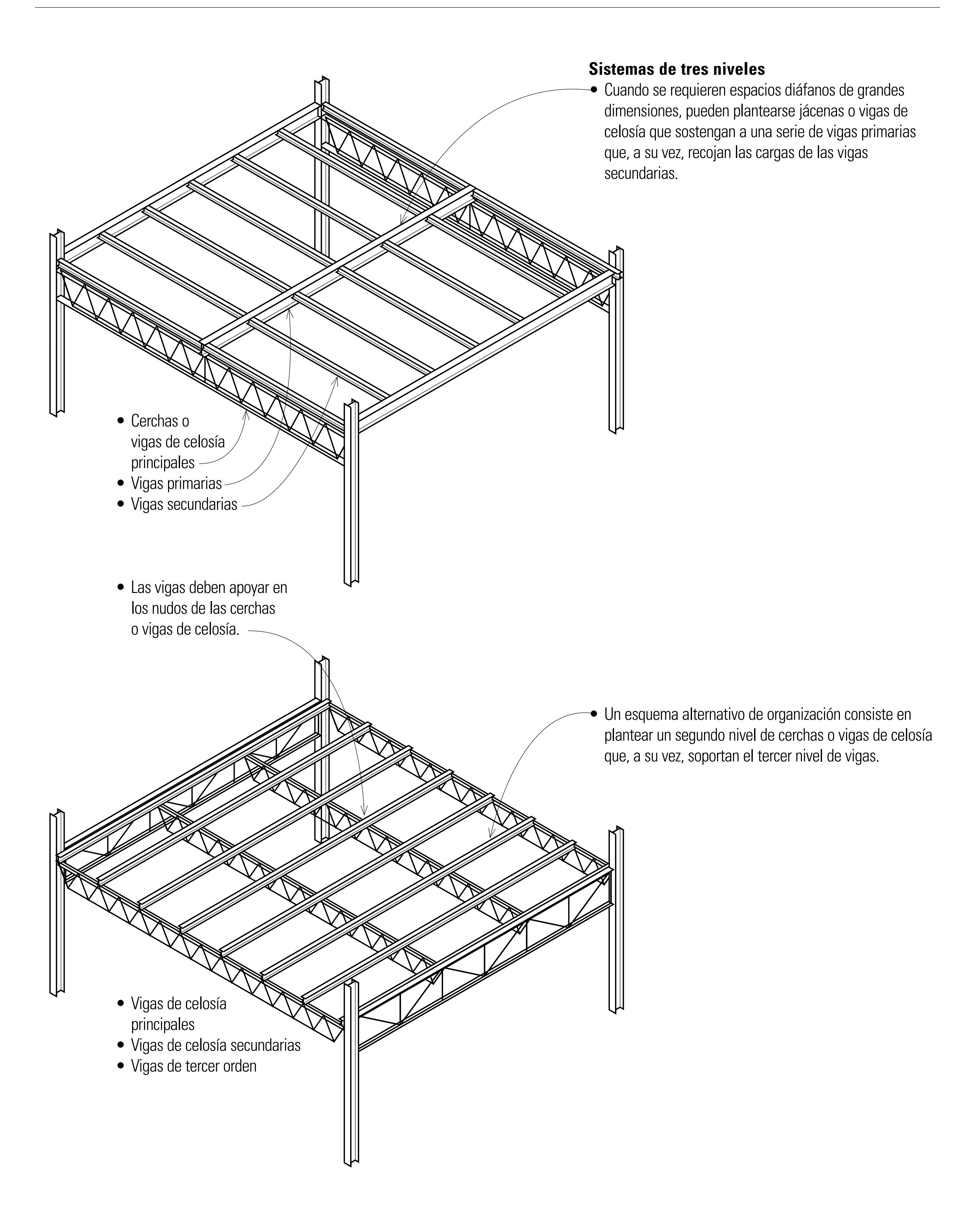
- Por lo general, cuando se apoyan sobre vigas de celosía, las viguetas de alma abierta deberían salvar la luz del lado mayor del rectángulo.
- En el caso de cargas ligeras y un canto del forjado reducido, las viguetas de alma abierta pueden salvar el lado corto, especialmente cuando están apoyadas sobre muros de carga.



- Malla cuadrada de 3 pies de lado (unos 0,9 m).

Sistemas de tres niveles

- Cuando se requieren espacios diáfanos de grandes dimensiones, pueden plantearse jácenas o vigas de celosía que sostengan a una serie de vigas primarias que, a su vez, recojan las cargas de las vigas secundarias.



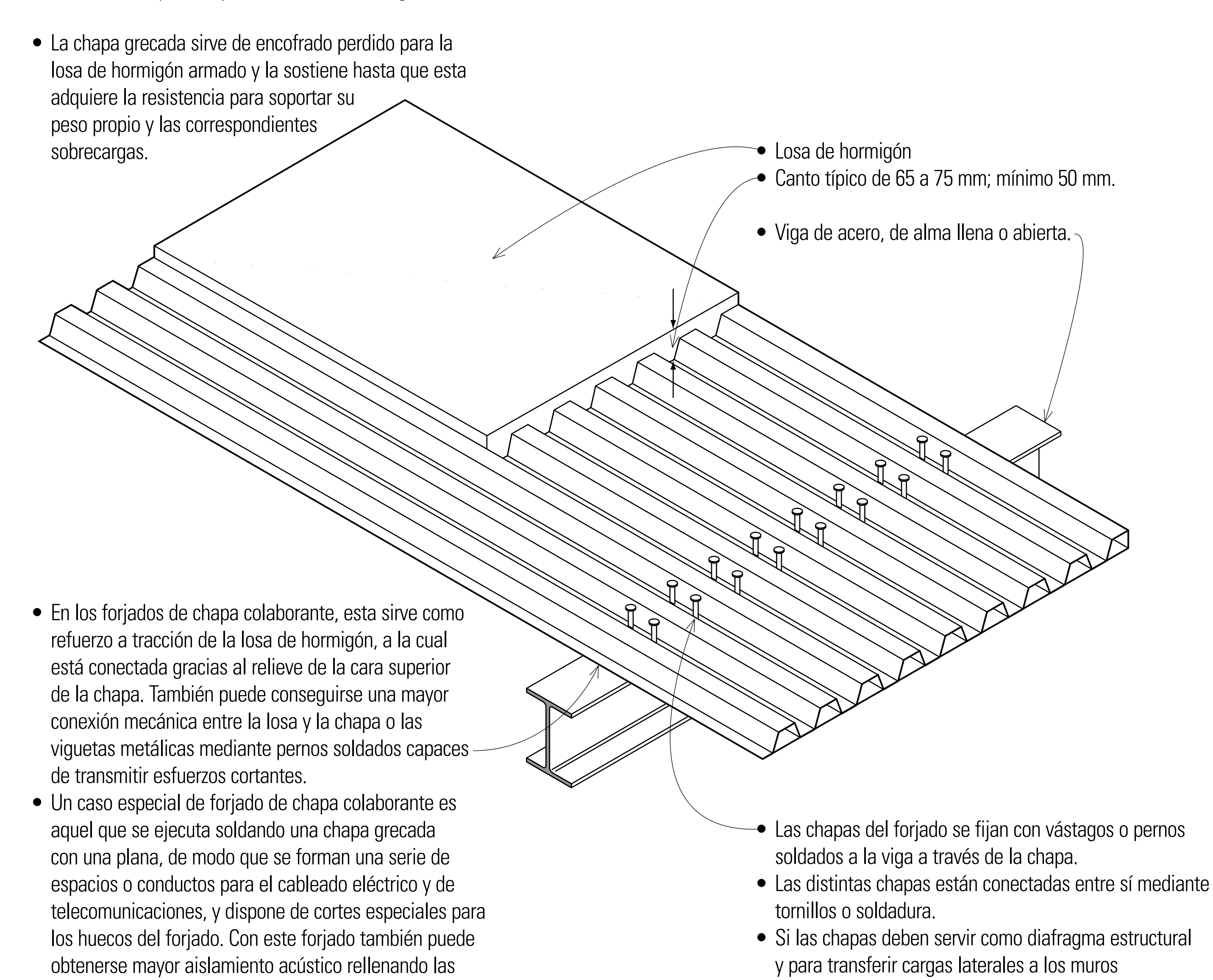
- Las vigas deben apoyar en los nudos de las cerchas o vigas de celosía.

- Un esquema alternativo de organización consiste en plantear un segundo nivel de cerchas o vigas de celosía que, a su vez, soportan el tercer nivel de vigas.

Forjados de chapa metálica

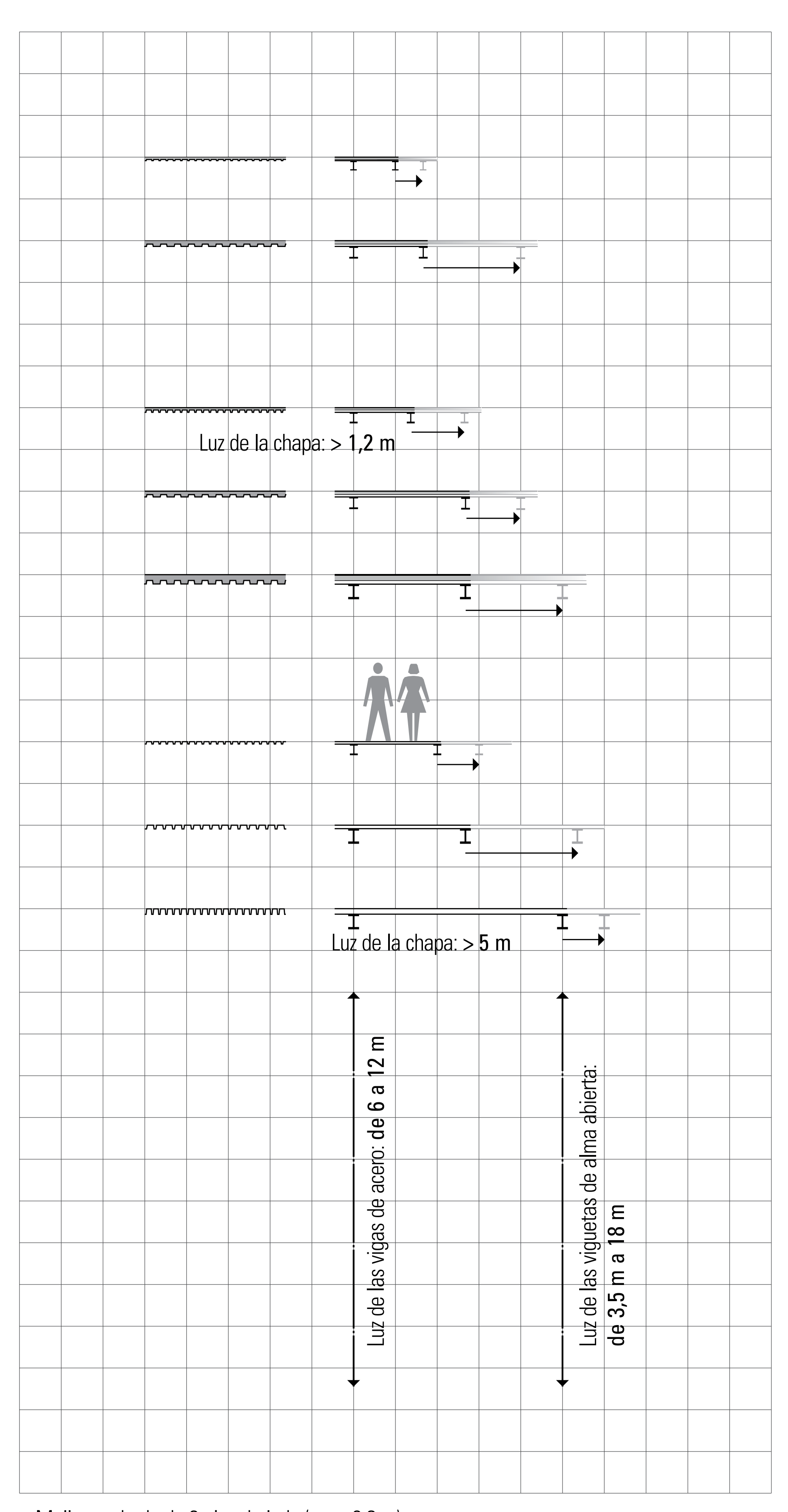
En este tipo de forjados se utiliza chapa grecada para aumentar su rigidez y resistencia a flexión. La chapa sirve como plataforma de trabajo durante la construcción y como encofrado perdido para una losa de hormigón in situ.

- La chapa grecada sirve de encofrado perdido para la losa de hormigón armado y la sostiene hasta que esta adquiere la resistencia para soportar su peso propio y las correspondientes sobrecargas.



- En los forjados de chapa colaborante, esta sirve como refuerzo a tracción de la losa de hormigón, a la cual está conectada gracias al relieve de la cara superior de la chapa. También puede conseguirse una mayor conexión mecánica entre la losa y la chapa o las viguetas metálicas mediante pernos soldados capaces de transmitir esfuerzos cortantes.
- Un caso especial de forjado de chapa colaborante es aquel que se ejecuta soldando una chapa grecada con una plana, de modo que se forman una serie de espacios o conductos para el cableado eléctrico y de telecomunicaciones, y dispone de cortes especiales para los huecos del forjado. Con este forjado también puede obtenerse mayor aislamiento acústico rellenando las cavidades con fibra de vidrio.

- Las chapas del forjado se fijan con vástagos o pernos soldados a la viga a través de la chapa.
- Las distintas chapas están conectadas entre sí mediante tornillos o soldadura.
- Si las chapas deben servir como diafragma estructural y para transferir cargas laterales a los muros rigidizadores, todo el perímetro debe estar soldado a los soportes de acero. Además se requiere una precisión mayor en las conexiones entre las chapas y de estas con los pilares.
- En el caso de cubiertas se pueden aplicar directamente aislamientos rígidos sobre la chapa de acero, sin necesidad de contar con un recubrimiento de hormigón.



- Malla cuadrada de 3 pies de lado (unos 0,9 m).

Forjados de chapa

- Canto: 25 mm, luces de 1 a 1,5 m.
- Canto: 50 mm, luces de 1,5 a 3,5 m.

Forjados de chapa colaborante

- Canto: 40 mm, luces de 1,2 a 2,5 m.
- Canto: 50 mm, luces de 2,5 a 3,5 m.
- Canto: 75 mm, luces de 2,5 a 4,5 m.

Cubiertas de chapa

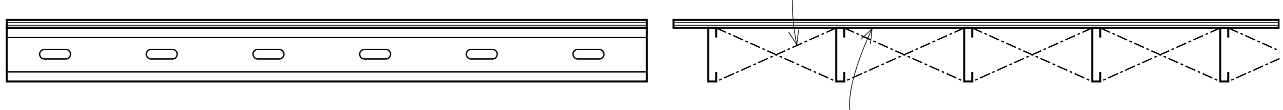
- Canto: 40 mm, luces de 2 a 3,5 m.
- Canto: 50 mm, luces de 2 a 3,5 m.
- Canto: 75 mm, luces de 3 a 5 m.

- Regla práctica para calcular el canto total de un forjado de chapa metálica: luz/35.

Vigas ligeras de acero

Las vigas ligeras de acero están fabricadas mediante conformado en frío de chapas o pletinas de acero. Las piezas resultantes son más ligeras y más estables en términos dimensionales, y pueden cubrir luces mayores que sus equivalentes en madera; sin embargo, son mejores conductoras del calor y consumen más energía en su fabricación. Los perfiles conformados en frío pueden cortarse y ensamblarse de forma sencilla con herramientas simples para formar un forjado ligero, incombustible y resistente a la humedad. Como en el caso de los entramados ligeros de madera, la solución con perfiles ligeros también cuenta con cavidades para las instalaciones y el aislamiento térmico, al tiempo que acepta una amplia gama de acabados.

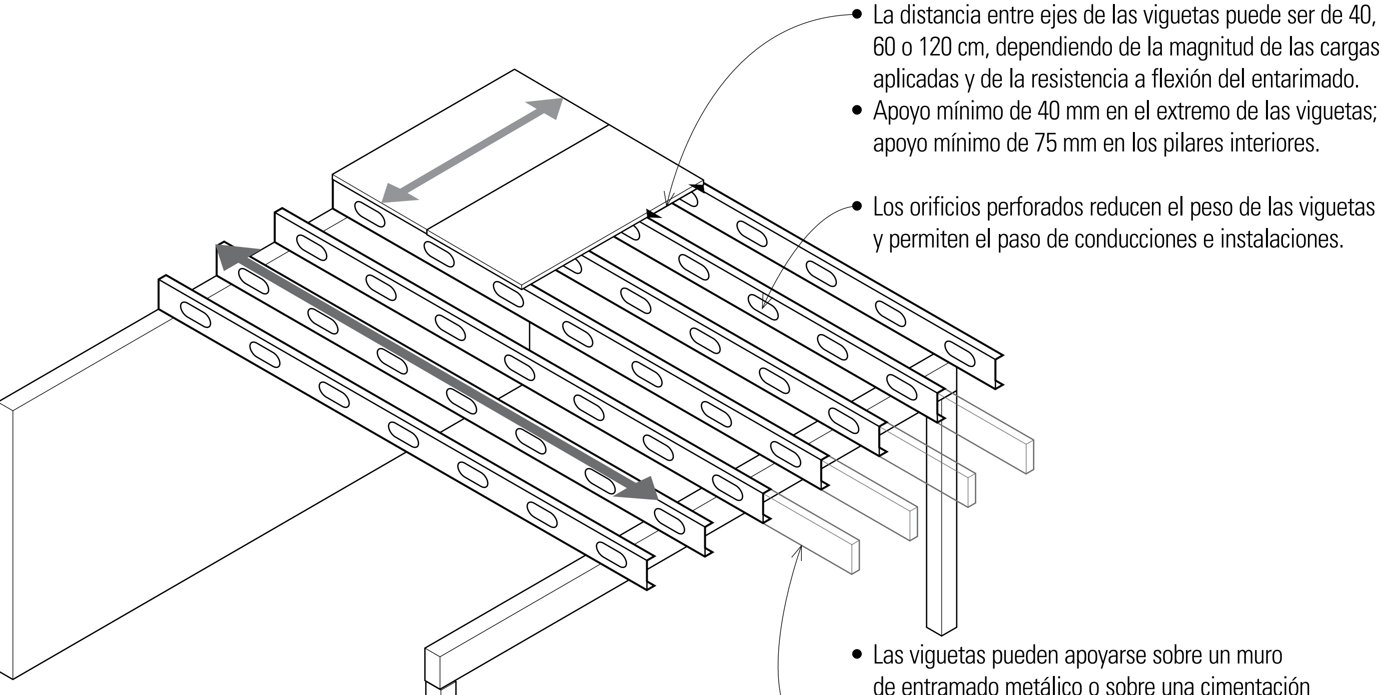
- Los perfiles conformados en frío son incombustibles y pueden utilizarse como vigas en construcciones de tipo I y II.
- Las vigas ligeras de acero se organizan y se conectan de forma similar a los entramados ligeros de madera.
- Las conexiones se realizan con tornillos autoperforantes y autorroscantes que se introducen mediante herramientas eléctricas, o con pernos fijados con pistola neumática.
- El arriostramiento lateral evita la rotación o el desplazamiento lateral de las viguetas; distancia de 1,5 a 2,5 entre ejes, en función de la luz de la vigueta.



- Cobertura de entarimado estructural de madera.

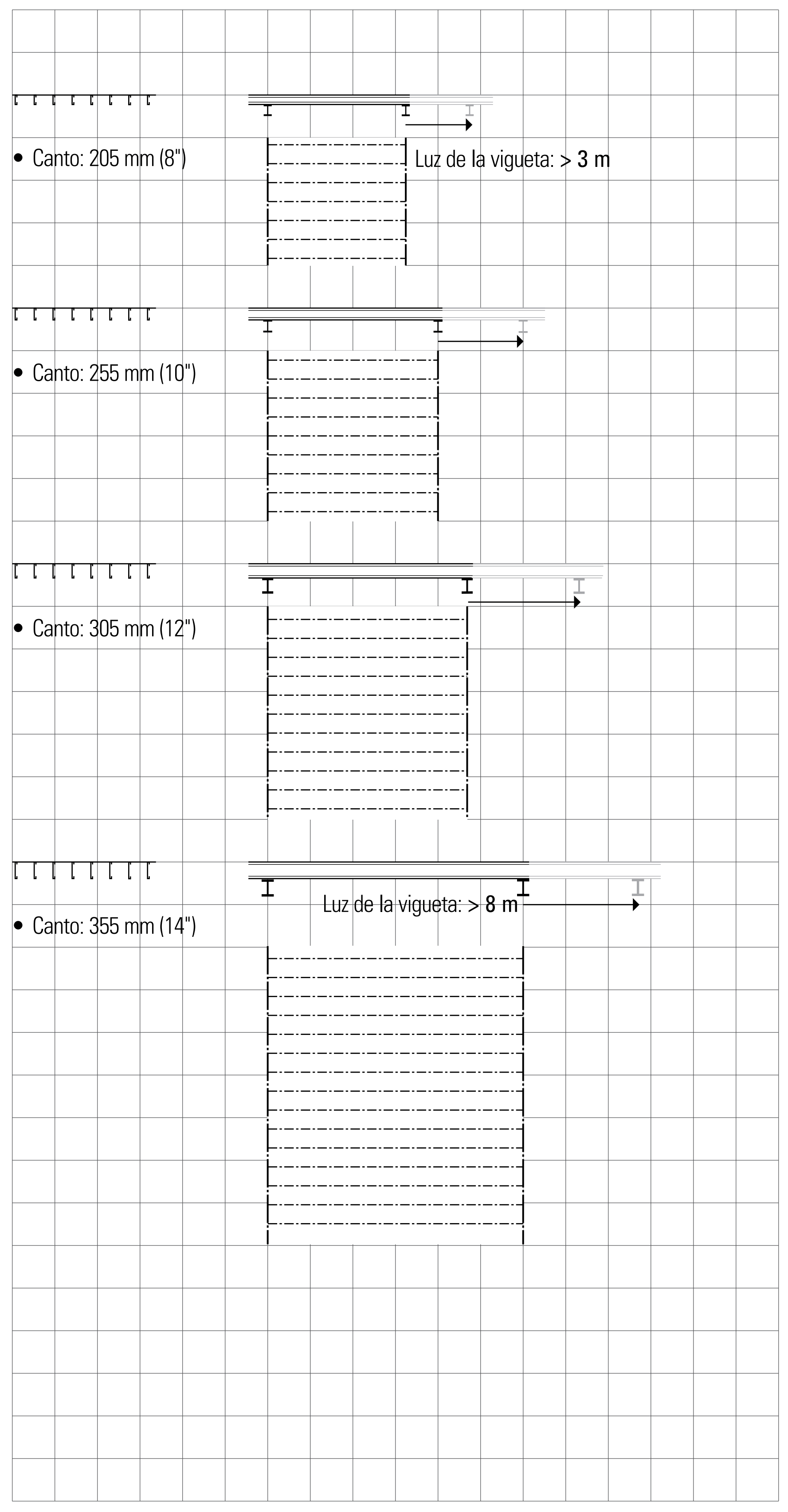
- La distancia entre ejes de las viguetas puede ser de 40, 60 o 120 cm, dependiendo de la magnitud de las cargas aplicadas y de la resistencia a flexión del entarimado.
- Apoyo mínimo de 40 mm en el extremo de las viguetas; apoyo mínimo de 75 mm en los pilares interiores.

- Los orificios perforados reducen el peso de las viguetas y permiten el paso de conducciones e instalaciones.



- Las viguetas pueden apoyarse sobre un muro de entramado metálico o sobre una cimentación de hormigón o de albañilería.
- La solución para formar voladizos o huecos del forjado es similar a la de los entramados ligeros de madera.

- En los puntos donde se producen cargas concentradas, como en los extremos de las viguetas o sobre los soportes interiores, es necesario disponer rigidizadores para evitar la deformación de la vigueta.



• Malla cuadrada de 3 pies de lado (unos 0,9 m).

- Cantos nominales: 150, 205, 255, 305 y 355 mm (6, 8, 10, 12 y 14").
- Anchuras de ala: 38, 45, 51 y 64 mm (1,5, 1,75, 2 y 2,5").
- Grosores normalizados: del 14 al 22.

- Regla práctica para calcular el canto: luz/20.

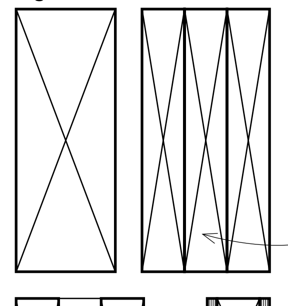
Construcción en madera

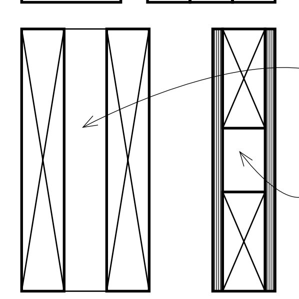
En la actualidad existen dos tipos de entramados de madera claramente diferenciados: pesados y ligeros. Los pesados utilizan piezas de gran sección para conformar vigas y pilares con índices de protección al fuego superiores a los del acero sin protección. Debido a la escasez de grandes piezas de madera natural, la mayor parte de los entramados pesados actuales están compuestos de piezas de madera laminada. Desde el punto de vista arquitectónico, estos entramados suelen dejarse vistos por su calidad estética.

Los entramados de madera ligeros utilizan piezas de pequeña sección muy próximas unas a otras para formar conjuntos que funcionan como unidades estructurales. Las pequeñas piezas de madera empleadas son altamente inflamables, y para cumplir con los requisitos de resistencia frente al fuego dependen de la aplicación de acabados específicos. El riesgo de que los entramados ligeros se pudran o sean atacados por plagas exige una separación adecuada respecto del terreno, el uso de diversos tratamientos para la madera, así como la ventilación y el control de la condensación en los espacios cerrados.

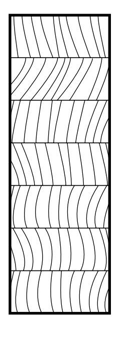
Debido a que es difícil obtener nudos rígidos en la construcción con madera, tanto los entramados pesados como los ligeros deben estabilizarse con muros o diagonales de arriostramiento para resistir cargas laterales.

Vigas de madera

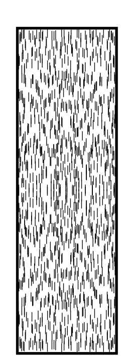




Madera maciza
- Para elegir una viga de madera maciza deberían tenerse en cuenta los siguientes aspectos: especie, clase estructural, módulo de elasticidad, valores admisibles de resistencia a flexión y cortante, y flecha máxima admitida según la función prevista del edificio. Además, también debería prestarse atención a las condiciones concretas de carga y a los tipos de uniones utilizadas.
- Las vigas resultado de unir varias piezas en paralelo pueden tener una resistencia igual a la suma de las resistencias de cada pieza individual.
- Las vigas compuestas consisten en varias piezas separadas y aseguradas mediante clavos, dispuestas a intervalos cortos de forma que las piezas individuales actúan como una unidad integral.
- Las vigas cajón se construyen encolando a dos o más tableros contrachapados o de virutas orientadas (OSB) unas alas de madera natural o madera microlaminada (LVL), que pueden diseñarse para salvar luces de hasta 27 m.

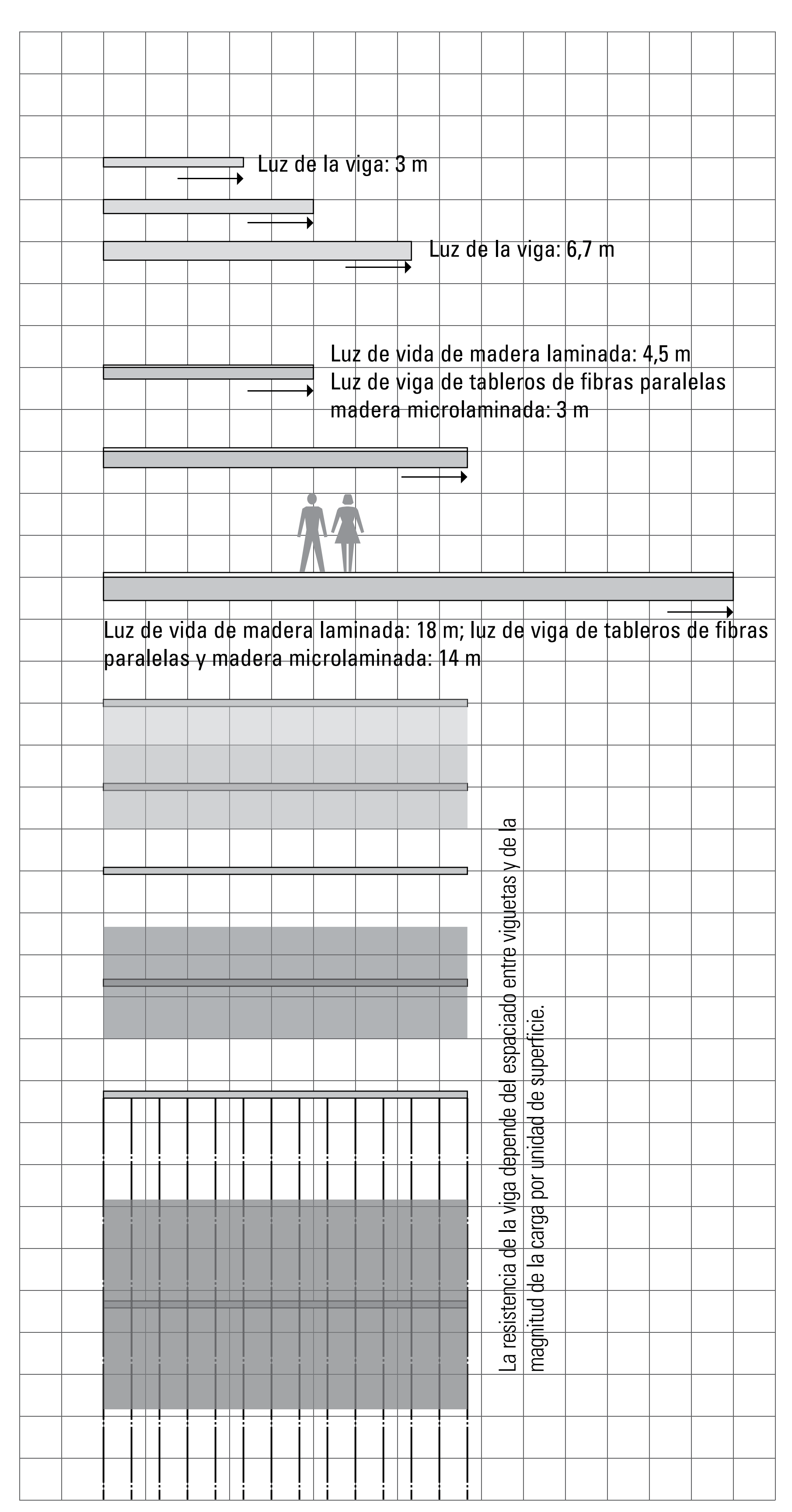


Madera laminada
- La madera laminada se fabrica uniendo con adhesivos láminas de madera de alta resistencia bajo determinadas condiciones, generalmente manteniendo paralelo el grano de todas las láminas. Las ventajas de la madera laminada sobre la madera natural residen en la resistencia, generalmente más elevada, una mejor apariencia y la disponibilidad de distintas secciones. Los extremos de las piezas de madera laminada pueden fabricarse de diferentes longitudes para facilitar el ensamblaje, o encolarse a tope para obtener una mayor anchura o canto.



Tableros de fibras paralelas
- Los tableros de fibras paralelas (PSL) se fabrican ligando fibras largas y estrechas de madera mediante un adhesivo impermeable, aplicado en condiciones de alta presión y temperatura. Se trata de un producto patentado y comercializado bajo la marca Parallam, que se emplea como vigas y pilares en entramados pesados y como vigas, remates y dinteles en entramados ligeros.

Madera microlaminada
- Los tableros de madera microlaminada (LVL) se fabrican mediante la unión de chapas de madera con un adhesivo impermeable aplicado bajo condiciones de alta presión y temperatura. Si las fibras de todas las chapas alineadas están en la misma dirección longitudinal, se obtiene un producto muy resistente cuando recibe cargas aplicadas en el borde, utilizado en forma de viga o aplicadas sobre una de sus caras, como ocurre cuando se utiliza en paneles. Los tableros de madera microlaminada se comercializan bajo diversas marcas, como es el caso de Microlam, y se utilizan como dinteles y vigas o como alas de vigas compuestas.



- Malla cuadrada de 3 pies de lado (unos 0,9 m).

Vigas de madera natural

- Disponibles en medidas nominales desde 4 × 8" hasta 6 × 12" en incrementos de 2" (5 mm); las dimensiones reales son 0,75" (19 mm) menos en el canto y 0,5" (13 mm) menos en la anchura.

- Regla práctica para calcular el canto de vigas de madera: luz/15.
- Anchura de la viga = entre 1/3 y 1/2 del canto.

Vigas de madera laminada

- Anchuras de viga: 8, 13, 17, 22 y 27,5 cm (3,125, 5,125, 6,75, 8,75 y 10,75")
- Cantos de viga hasta 1,9 m (75") en intervalos de 35 o 38 mm (1,375 o 1,5") según la anchura de los laminados. Se pueden laminar piezas curvas mediante laminaciones de 19 mm (0,75") para obtener una curvatura mayor.

Vigas de tableros de fibras paralelas

- Anchuras de viga: 9, 13,5 y 18 cm (3,5, 5,25 y 7")
- Cantos de viga: 24, 30, 35,5, 41 y 46 cm (9,5, 11,875, 14, 16 y 18")

Vigas de madera microlaminada

- Anchura de viga: 45 mm (1,75"); aunque pueden producirse piezas de anchuras mayores.
- Cantos de viga: 14, 18,5, 23,5, 28,5, 30, 35,5, 40,5, 45,5 y 51 cm (5,5, 7,25, 9,25, 11,25, 11,825, 14, 16, 18 y 20")

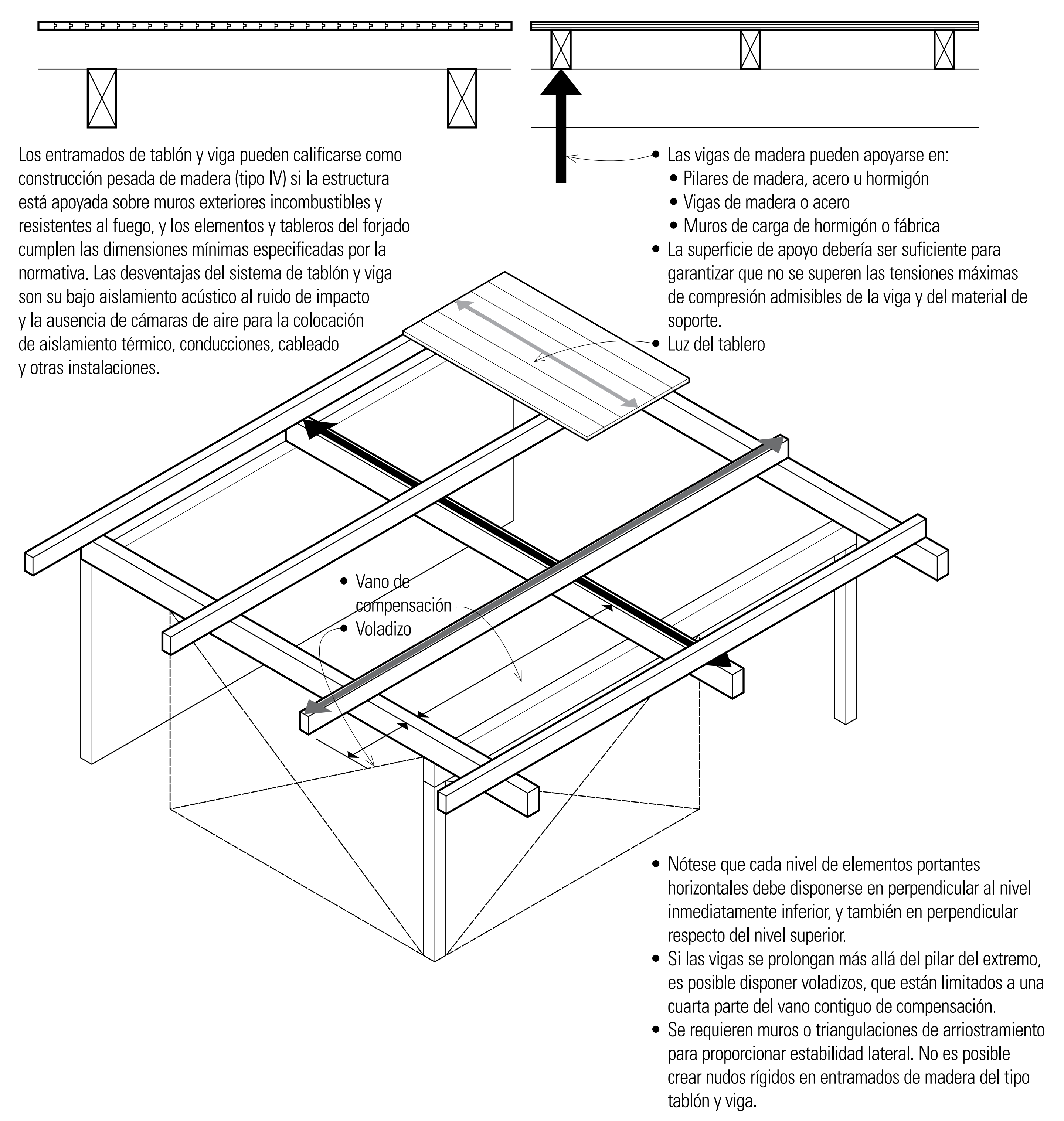
- Regla práctica para estimar el canto de vigas manufacturadas: luz/20.
- Las luces de las vigas son solo estimaciones. Cualquier cálculo preciso del tamaño de una viga debe tener en cuenta la carga tributaria, que depende de la separación entre vigas y de la magnitud de la carga soportada.

- La anchura de la viga debería ser entre 1/4 y 1/3 del canto.
- Debido a limitaciones en el transporte, la longitud máxima de una viga manufacturada es de 18 m.

Sistemas de tablón y viga

Los sistemas de forjado de tablón y viga se utilizan habitualmente con una retícula de soportes para formar un entramado. Se utilizan piezas de mayor sección para salvar luces mayores, lo cual puede traducirse en un ahorro en material y en mano de obra.

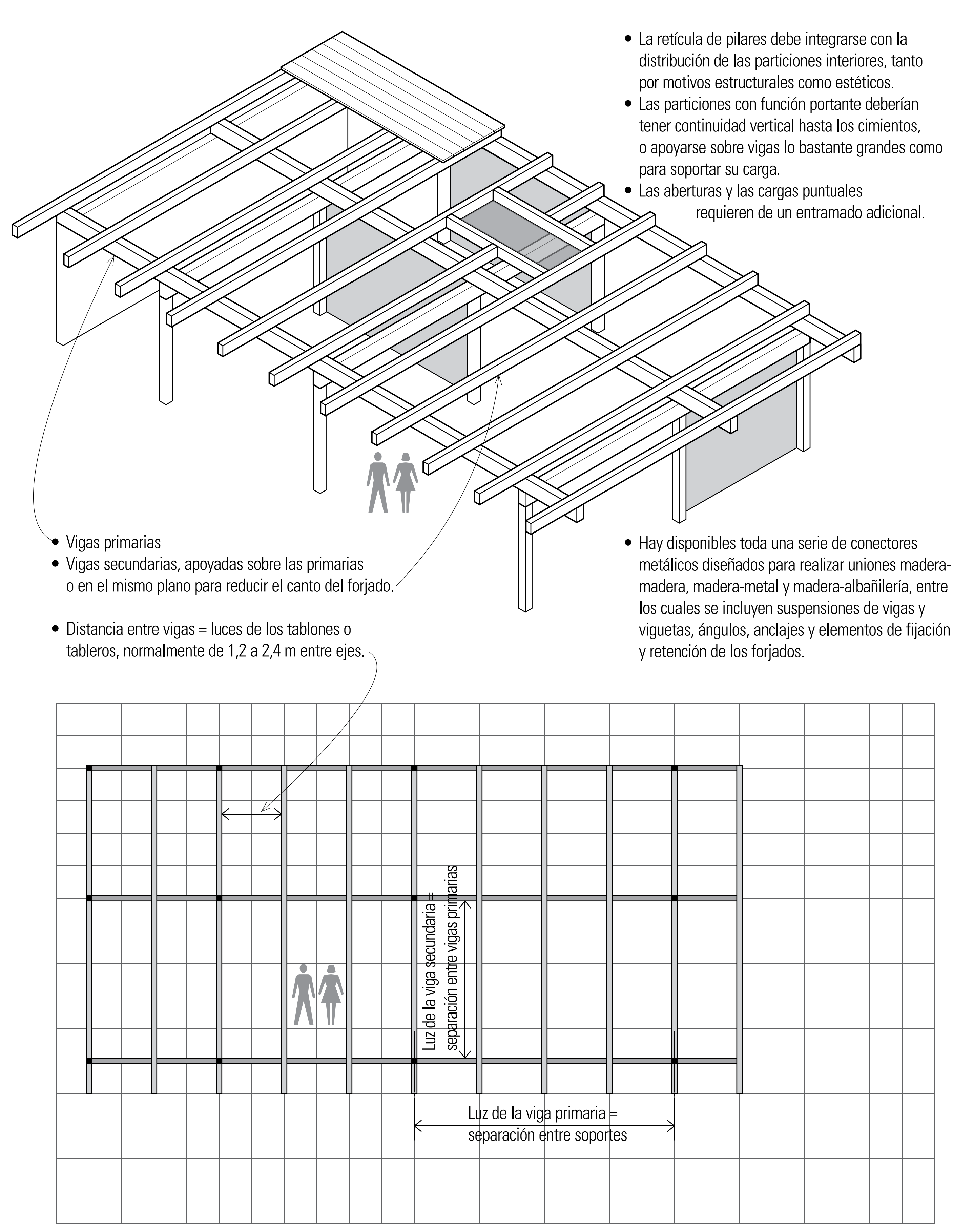
- Los entramados de tablón y viga resultan más eficaces para soportar cargas moderadas distribuidas regularmente; las cargas puntuales pueden exigir que se añadan nuevos elementos al entramado.
- Cuando este sistema estructural queda visto, debe ponerse especial atención en el tipo de madera y su clase estructural, a las soluciones de las juntas, especialmente las uniones entre las vigas y las vigas con los pilares, así como a la calidad de la puesta en obra.



Los entramados de tablón y viga pueden calificarse como construcción pesada de madera (tipo IV) si la estructura está apoyada sobre muros exteriores incombustibles y resistentes al fuego, y los elementos y tableros del forjado cumplen las dimensiones mínimas especificadas por la normativa. Las desventajas del sistema de tablón y viga son su bajo aislamiento acústico al ruido de impacto y la ausencia de cámaras de aire para la colocación de aislamiento térmico, conducciones, cableado y otras instalaciones.

- Las vigas de madera pueden apoyarse en:
  - Pilares de madera, acero u hormigón
  - Vigas de madera o acero
  - Muros de carga de hormigón o fábrica
- La superficie de apoyo debería ser suficiente para garantizar que no se superen las tensiones máximas de compresión admisibles de la viga y del material de soporte.
- Luz del tablero

- Nótese que cada nivel de elementos portantes horizontales debe disponerse en perpendicular al nivel inmediatamente inferior, y también en perpendicular respecto del nivel superior.
- Si las vigas se prolongan más allá del pilar del extremo, es posible disponer voladizos, que están limitados a una cuarta parte del vano contiguo de compensación.
- Se requieren muros o triangulaciones de arriostramiento para proporcionar estabilidad lateral. No es posible crear nudos rígidos en entramados de madera del tipo tablón y viga.



- La retícula de pilares debe integrarse con la distribución de las particiones interiores, tanto por motivos estructurales como estéticos.
- Las particiones con función portante deberían tener continuidad vertical hasta los cimientos, o apoyarse sobre vigas lo bastante grandes como para soportar su carga.
- Las aberturas y las cargas puntuales requieren de un entramado adicional.

- Vigas primarias
- Vigas secundarias, apoyadas sobre las primarias o en el mismo plano para reducir el canto del forjado.

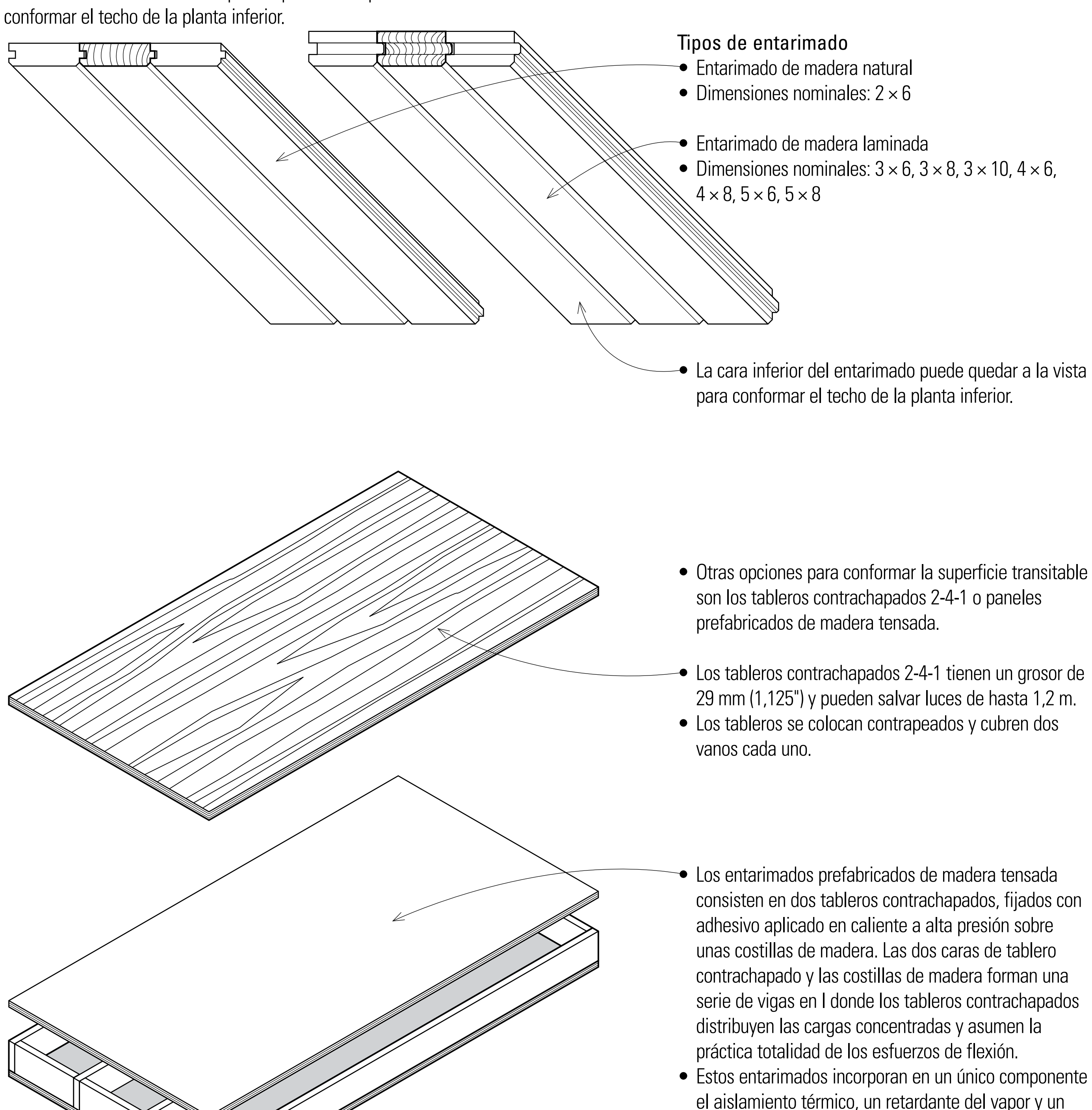
- Distancia entre vigas = luces de los tablones o tableros, normalmente de 1,2 a 2,4 m entre ejes.

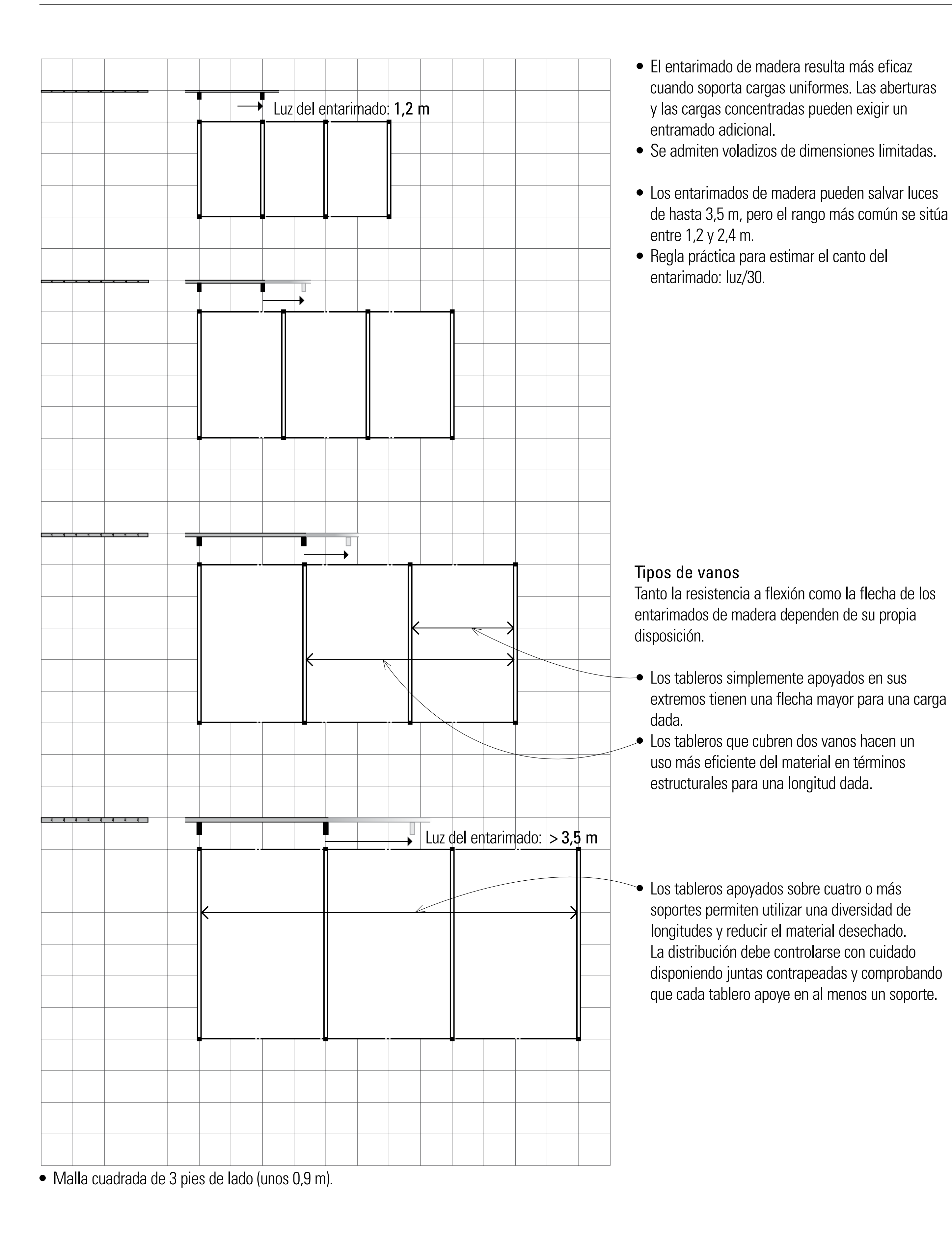
- Hay disponibles toda una serie de conectores metálicos diseñados para realizar uniones madera-madera, madera-metal y madera-albañilería, entre los cuales se incluyen suspensiones de vigas y viguetas, ángulos, anclajes y elementos de fijación y retención de los forjados.

- Malla cuadrada de 3 pies de lado (unos 0,9 m).

Entarimados de madera

Normalmente, los tableros o entarimados de madera se utilizan con sistemas de tablón y viga, pero también para crear la superficie transitable en entramados de acero. La cara inferior del entarimado puede quedar vista para conformar el techo de la planta inferior.





- El entarimado de madera resulta más eficaz cuando soporta cargas uniformes. Las aberturas y las cargas concentradas pueden exigir un entramado adicional.
- Se admiten voladizos de dimensiones limitadas.

- Los entarimados de madera pueden salvar luces de hasta 3,5 m, pero el rango más común se sitúa entre 1,2 y 2,4 m.
- Regla práctica para estimar el canto del entarimado: luz/30.

Tipos de vanos

Tanto la resistencia a flexión como la flecha de los entarimados de madera dependen de su propia disposición.

- Los tableros simplemente apoyados en sus extremos tienen una flecha mayor para una carga dada.
- Los tableros que cubren dos vanos hacen un uso más eficiente del material en términos estructurales para una longitud dada.

- Los tableros apoyados sobre cuatro o más soportes permiten utilizar una diversidad de longitudes y reducir el material desechado. La distribución debe controlarse con cuidado disponiendo juntas contrapeadas y comprobando que cada tablero apoye en al menos un soporte.

- Malla cuadrada de 3 pies de lado (unos 0,9 m).

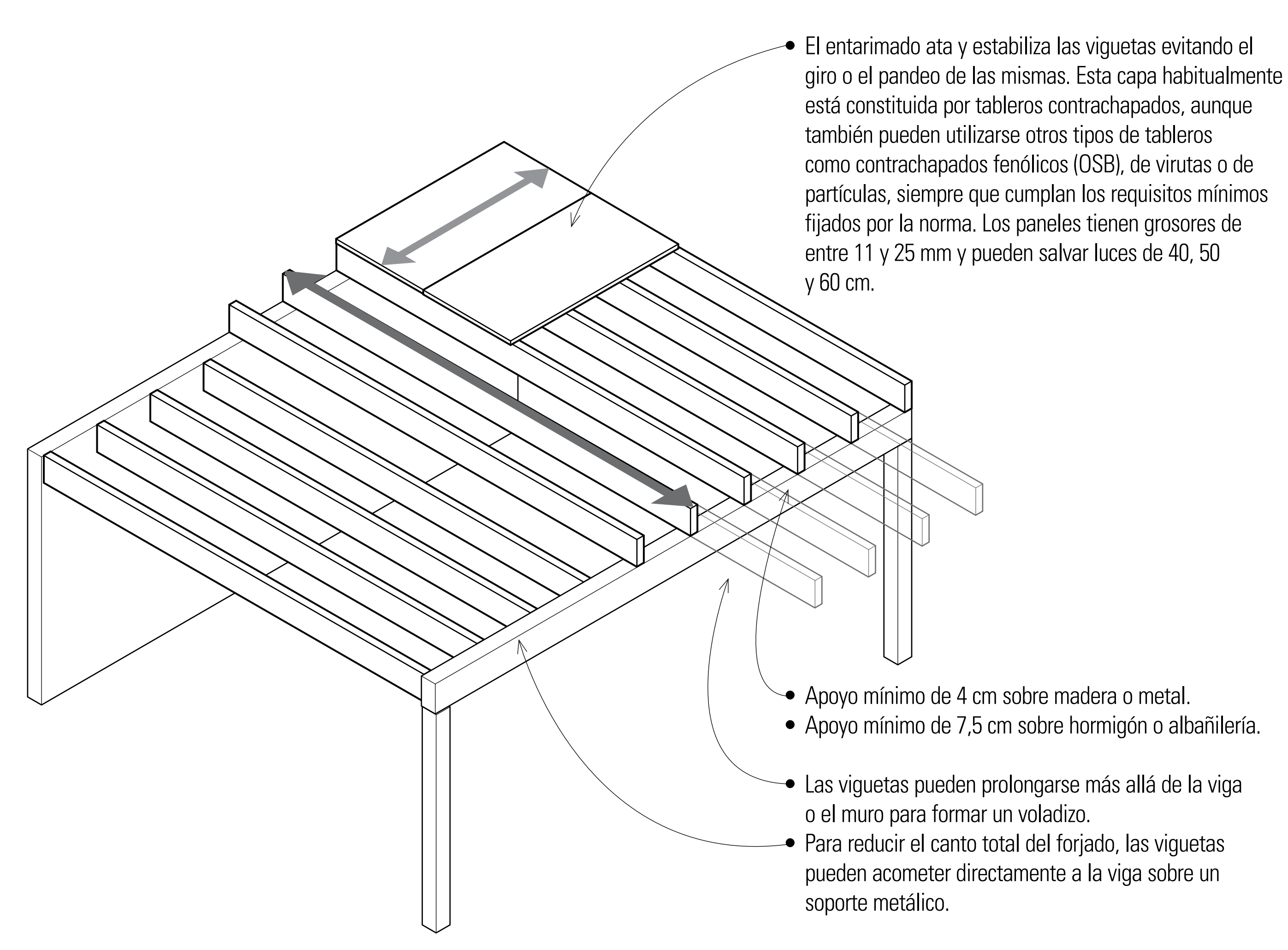
Viguetas de madera

Una vigueta es un elemento estructural que trabaja a flexión, colocada muy próxima al resto de ellas y en gran número. La proximidad de las viguetas permite que el área tributaria de cada una de ellas sea relativamente pequeña, de modo que transmitan a la viga o al muro que las soporta una carga relativamente uniforme.

- Las vigas se disponen a intervalos de 30,5, 40,5 o 61 cm (12, 16 o 24") entre ejes, dependiendo de la magnitud prevista de las cargas aplicadas y de la resistencia a flexión de los tableros o paneles apoyados sobre las mismas.
- Las viguetas están diseñadas para soportar cargas uniformes y resultan más eficientes si están trianguladas o conectadas mediante barras que les permitan transferir y asumir conjuntamente cargas puntuales.

Las viguetas de madera constituyen un subsistema esencial de la construcción con entramados ligeros de madera. Las dimensiones de la pieza hacen que sea fácil trabajar con ellas y permite una rápida puesta en obra con herramientas simples. Unidas mediante paneles o entarimados se obtiene una superficie nivelada de trabajo. Si se diseña adecuadamente, la superficie resultante puede servir como diafragma estructural para transferir cargas laterales a los muros rigidizadores.

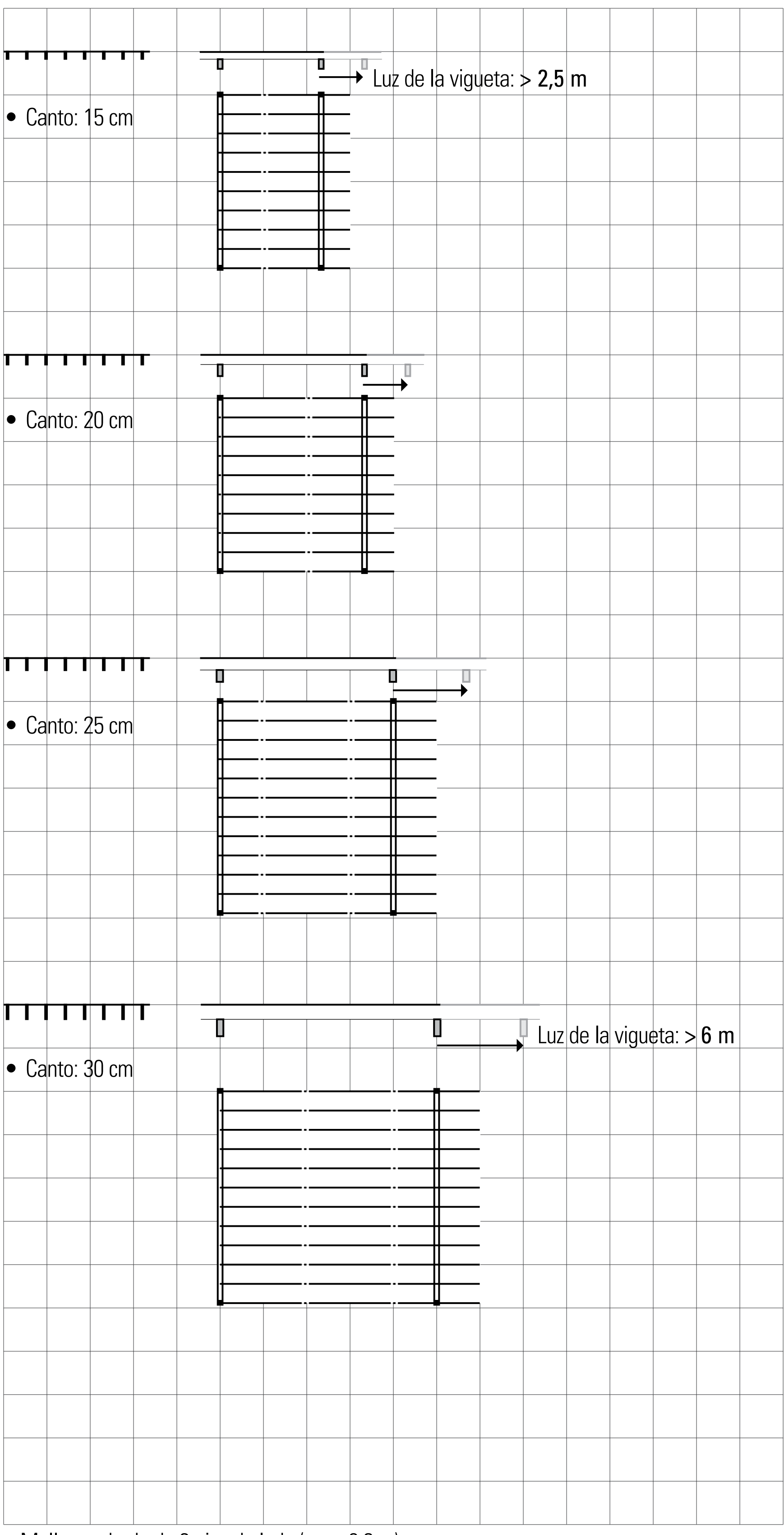
- Los huecos entre viguetas pueden alojar conducciones, cableado y aislamiento térmico.
- Puede colocarse un techo inmediatamente sobre la cara inferior de las viguetas, o colgarse para dejar espacio a las instalaciones que discurran en perpendicular a las viguetas.
- Puesto que el entramado ligero de madera es combustible, debe contar con un tratamiento superficial en suelos y techos para garantizar una mínima resistencia al fuego.
- Los extremos de las viguetas necesitan soporte lateral.



- El entarimado ata y estabiliza las viguetas evitando el giro o el pandeo de las mismas. Esta capa habitualmente está constituida por tableros contrachapados, aunque también pueden utilizarse otros tipos de tableros como contrachapados fenólicos (OSB), de virutas o de partículas, siempre que cumplan los requisitos mínimos fijados por la norma. Los paneles tienen grosores de entre 11 y 25 mm y pueden salvar luces de 40, 50 y 60 cm.

- Apoyo mínimo de 4 cm sobre madera o metal.
- Apoyo mínimo de 7,5 cm sobre hormigón o albañilería.

- Las viguetas pueden prolongarse más allá de la viga o el muro para formar un voladizo.
- Para reducir el canto total del forjado, las viguetas pueden acometer directamente a la viga sobre un soporte metálico.



• Malla cuadrada de 3 pies de lado (unos 0,9 m).

- El entramado de viguetas de madera es bastante flexible, y gracias a la facilidad de trabajar el material en obra, resulta adecuado para cubrir plantas irregulares.

- Dimensiones nominales de las viguetas de madera: 2 × 6, 2 × 8, 2 × 10 y 2 × 12.
- Dimensiones reales de las viguetas:
  Restar 1,3 cm (1/2") de las dimensiones nominales entre 5 y 15 cm;
  Restar 2 cm de las dimensiones nominales mayores de 15 cm.

- Rango de luces de las viguetas de madera:
  2 × 6 hasta 3 m
  2 × 8 2,5-3,5 m
  2 × 10 3-4,3 m
  2 × 12 3,5-6 m
- Regla práctica para estimar el canto de la vigueta: luz/16

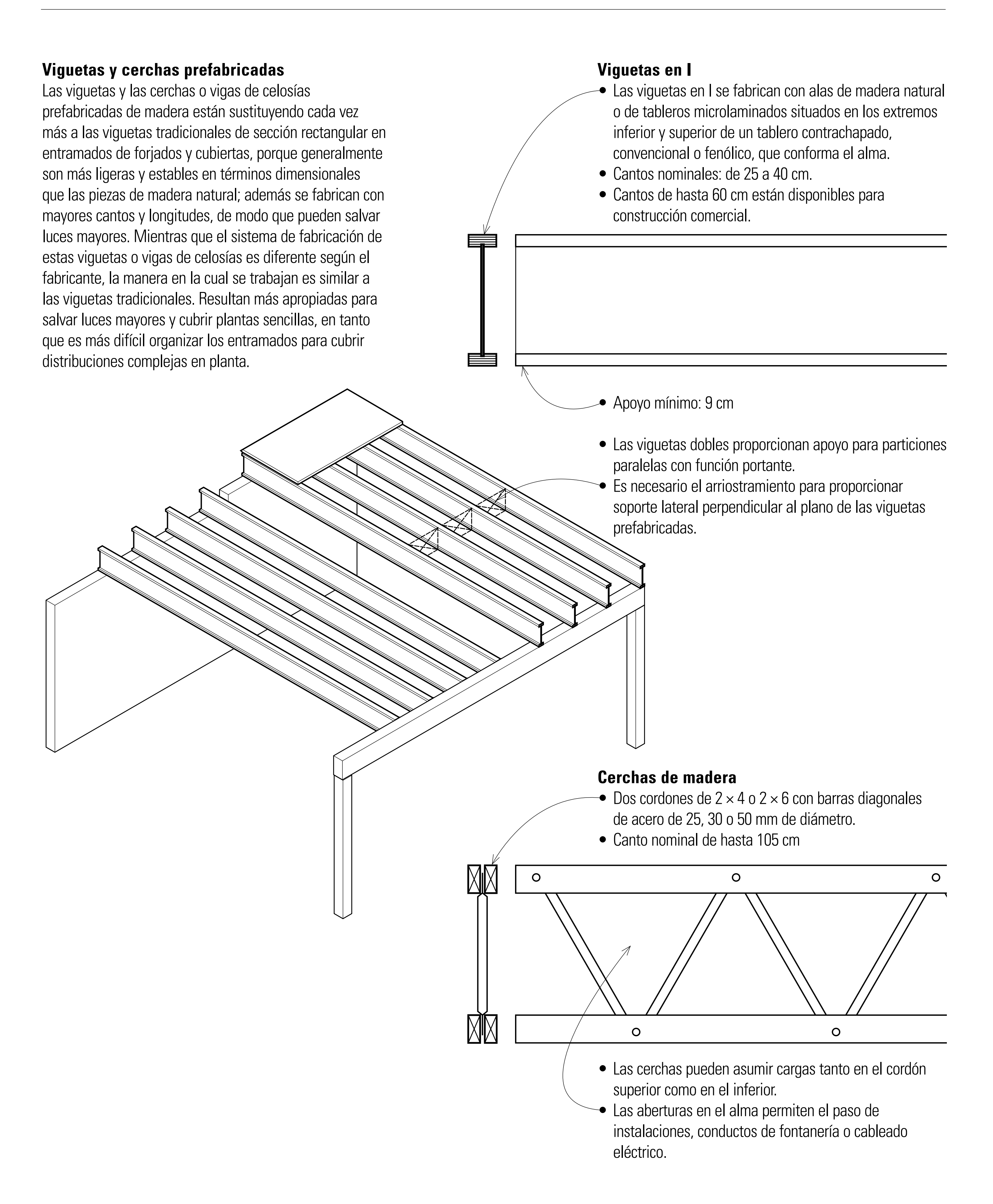
- Las viguetas de madera natural están disponibles en longitudes de hasta 6 m.

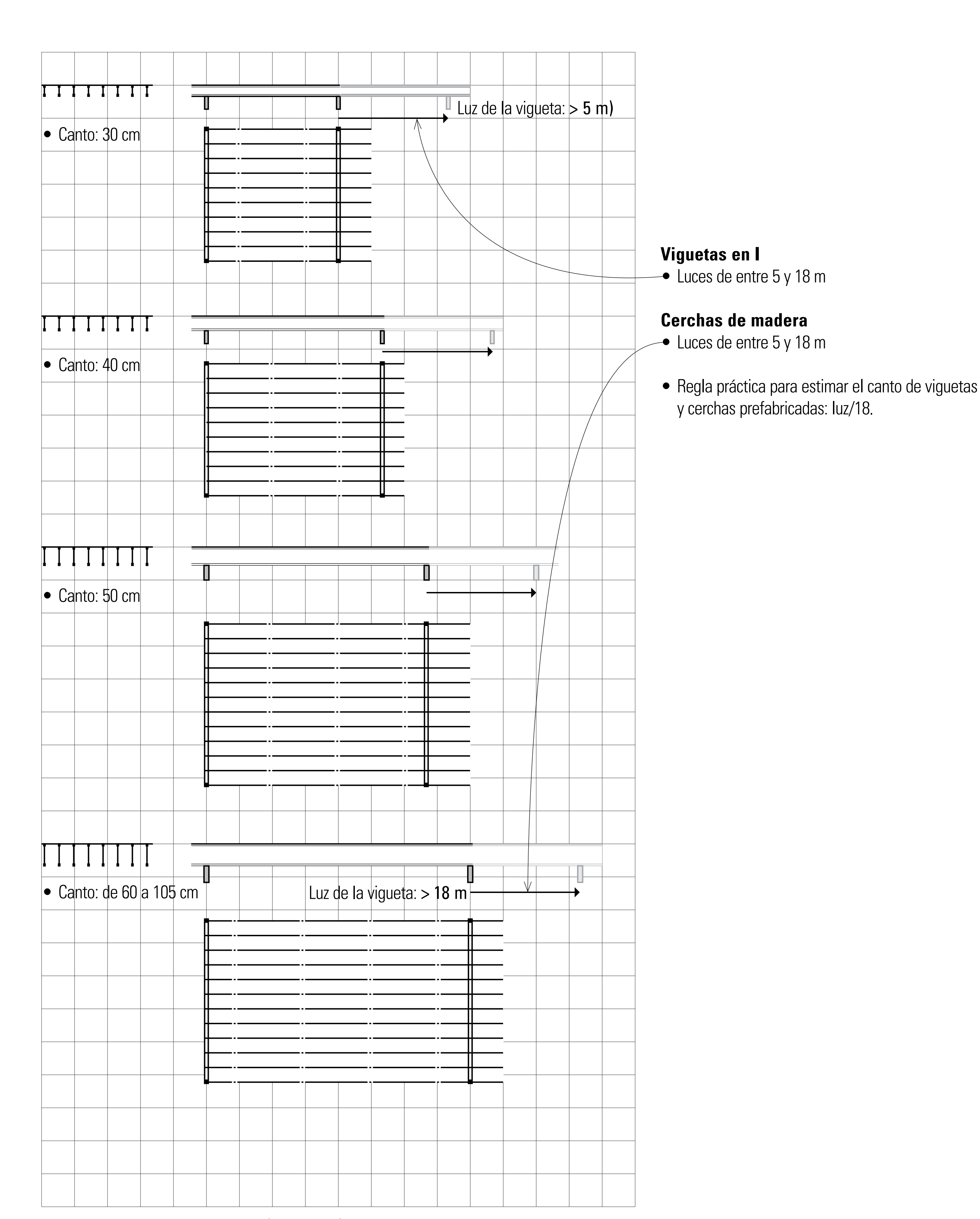
- Cuando las luces se aproximan al límite máximo admitido por las viguetas, la rigidez del entramado en condiciones de carga a menudo resulta más importante que la propia resistencia de las viguetas.

- Si hay margen para aumentar el canto total del forjado, resulta preferible, en términos de rigidez, disponer viguetas de mayor canto y más separadas que viguetas menores y más próximas entre sí.

Viguetas y cerchas prefabricadas

Las viguetas y las cerchas o vigas de celosías prefabricadas de madera están sustituyendo cada vez más a las viguetas tradicionales de sección rectangular en entramados de forjados y cubiertas, porque generalmente son más ligeras y estables en términos dimensionales que las piezas de madera natural; además se fabrican con mayores cantos y longitudes, de modo que pueden salvar luces mayores. Mientras que el sistema de fabricación de estas viguetas o vigas de celosías es diferente según el fabricante, la manera en la cual se trabajan es similar a las viguetas tradicionales. Resultan más apropiadas para salvar luces mayores y cubrir plantas sencillas, en tanto que es más difícil organizar los entramados para cubrir distribuciones complejas en planta.





Viguetas en I
- Luces de entre 5 y 18 m

Cerchas de madera
- Luces de entre 5 y 18 m

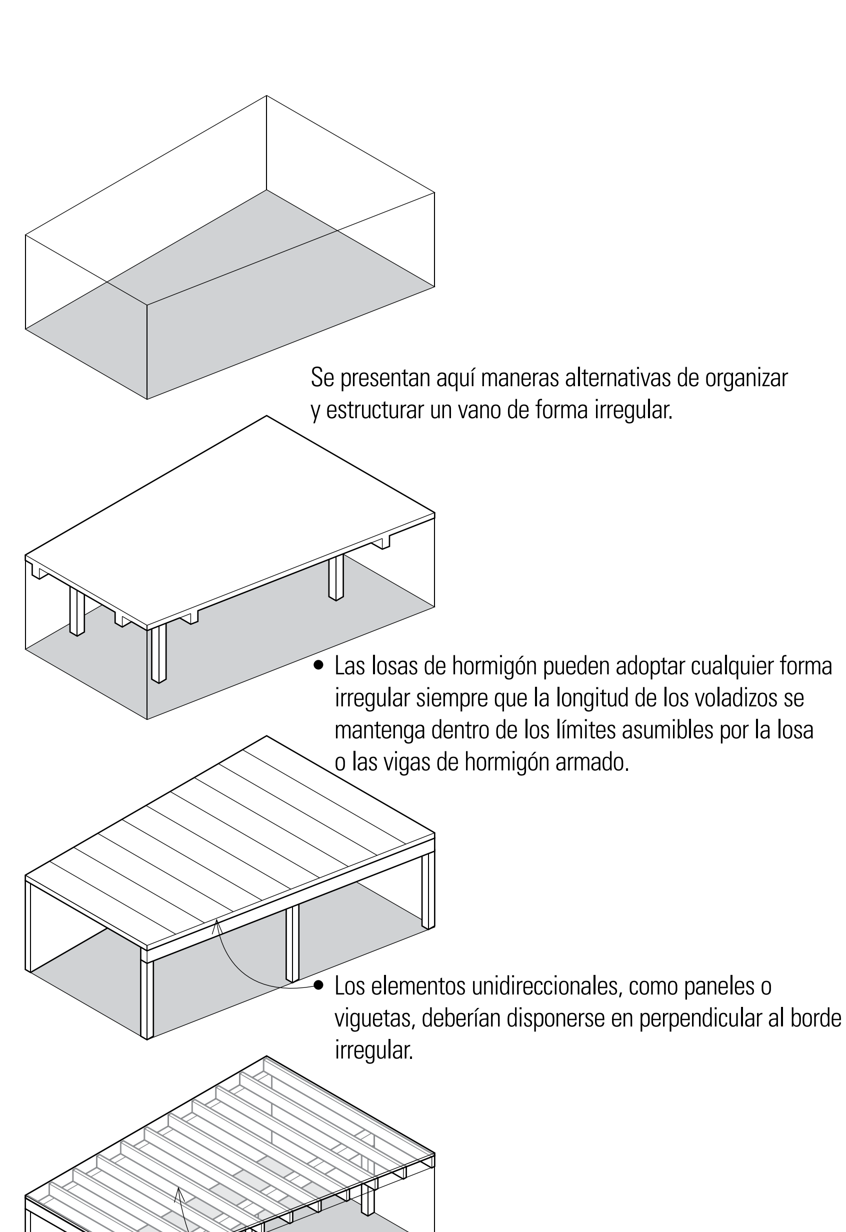
- Regla práctica para estimar el canto de viguetas y cerchas prefabricadas: luz/18.

- Malla cuadrada de 3 pies de lado (unos 0,9 m).

PLANTAS IRREGULARES

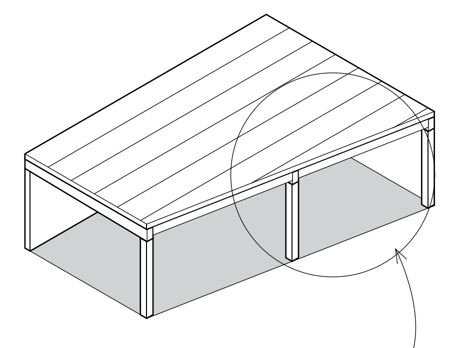
Los forjados unidireccionales son más eficientes cuando se plantean sobre plantas regulares y rectangulares. En el caso de los bidireccionales, los vanos no solo deben ser regulares, sino también lo más próximos posible a un cuadrado. El uso de módulos regulares también permite la utilización de elementos repetitivos de idéntica sección y longitud. Sin embargo, los requisitos funcionales, las restricciones del emplazamiento o las decisiones estéticas, a menudo pueden sugerir vanos no rectangulares ni geométricamente regulares.

Sea cual sea el motivo, los vanos irregulares no suelen presentarse de forma aislada. Normalmente aparecen en la periferia de una retícula más regular de soportes y elementos de forjado. Sin embargo, los vanos irregulares siempre supondrán algún tipo de ineficiencia estructural, pues los elementos a flexión deberán diseñarse para la luz mayor de cada nivel, aunque las longitudes reales de cada miembro sean variables.



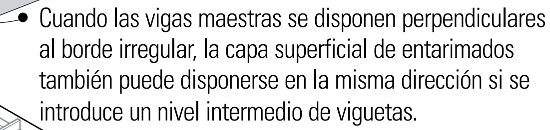
Se presentan aquí maneras alternativas de organizar y estructurar un vano de forma irregular.

- Las losas de hormigón pueden adoptar cualquier forma irregular siempre que la longitud de los voladizos se mantenga dentro de los límites asumibles por la losa o las vigas de hormigón armado.

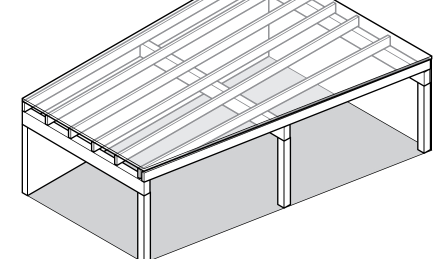


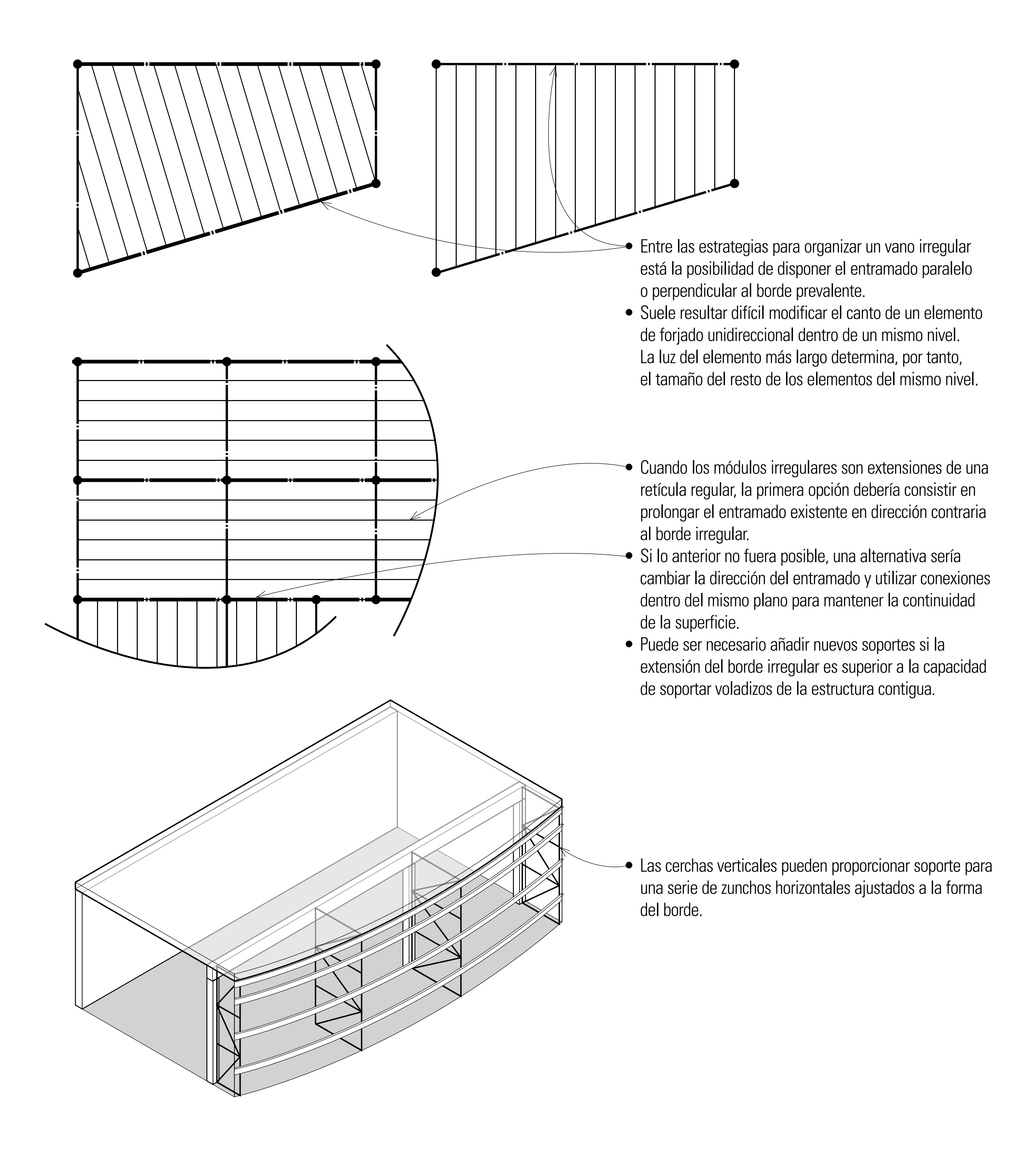
- Cuando los tableros o entarimados estructurales se dispongan en la dirección de la irregularidad, resultará difícil cortar el material plano en ángulo agudo. También será necesario añadir soporte para los bordes libres de los paneles cortados.

- Los elementos unidireccionales, como paneles o viguetas, deberían disponerse en perpendicular al borde irregular.



- Cuando las vigas maestras se disponen perpendiculares al borde irregular, la capa superficial de entarimados también puede disponerse en la misma dirección si se introduce un nivel intermedio de viguetas.

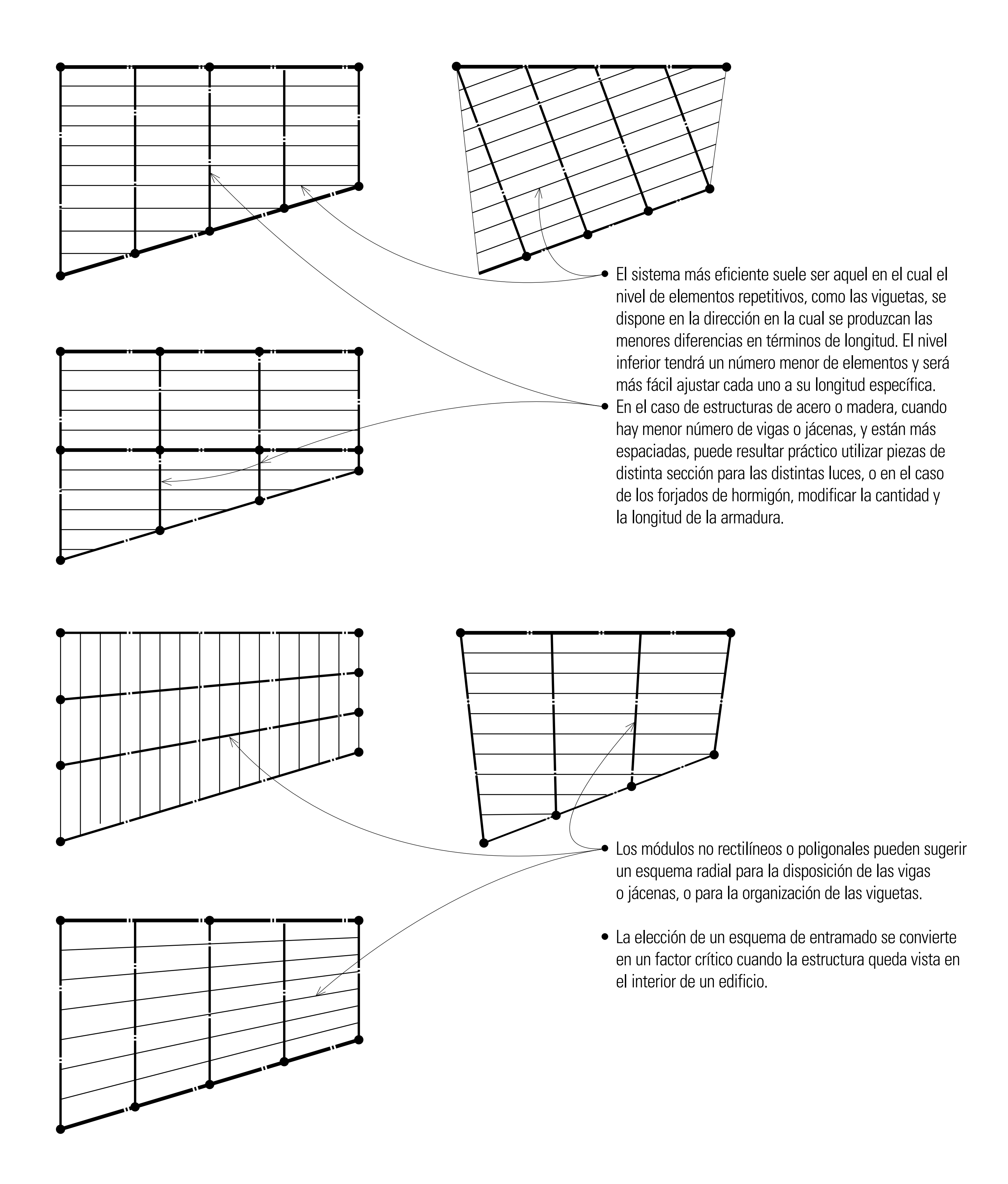




- Entre las estrategias para organizar un vano irregular está la posibilidad de disponer el entramado paralelo o perpendicular al borde prevalente.
- Suele resultar difícil modificar el canto de un elemento de forjado unidireccional dentro de un mismo nivel. La luz del elemento más largo determina, por tanto, el tamaño del resto de los elementos del mismo nivel.

- Cuando los módulos irregulares son extensiones de una retícula regular, la primera opción debería consistir en prolongar el entramado existente en dirección contraria al borde irregular.
- Si lo anterior no fuera posible, una alternativa sería cambiar la dirección del entramado y utilizar conexiones dentro del mismo plano para mantener la continuidad de la superficie.
- Puede ser necesario añadir nuevos soportes si la extensión del borde irregular es superior a la capacidad de soportar voladizos de la estructura contigua.

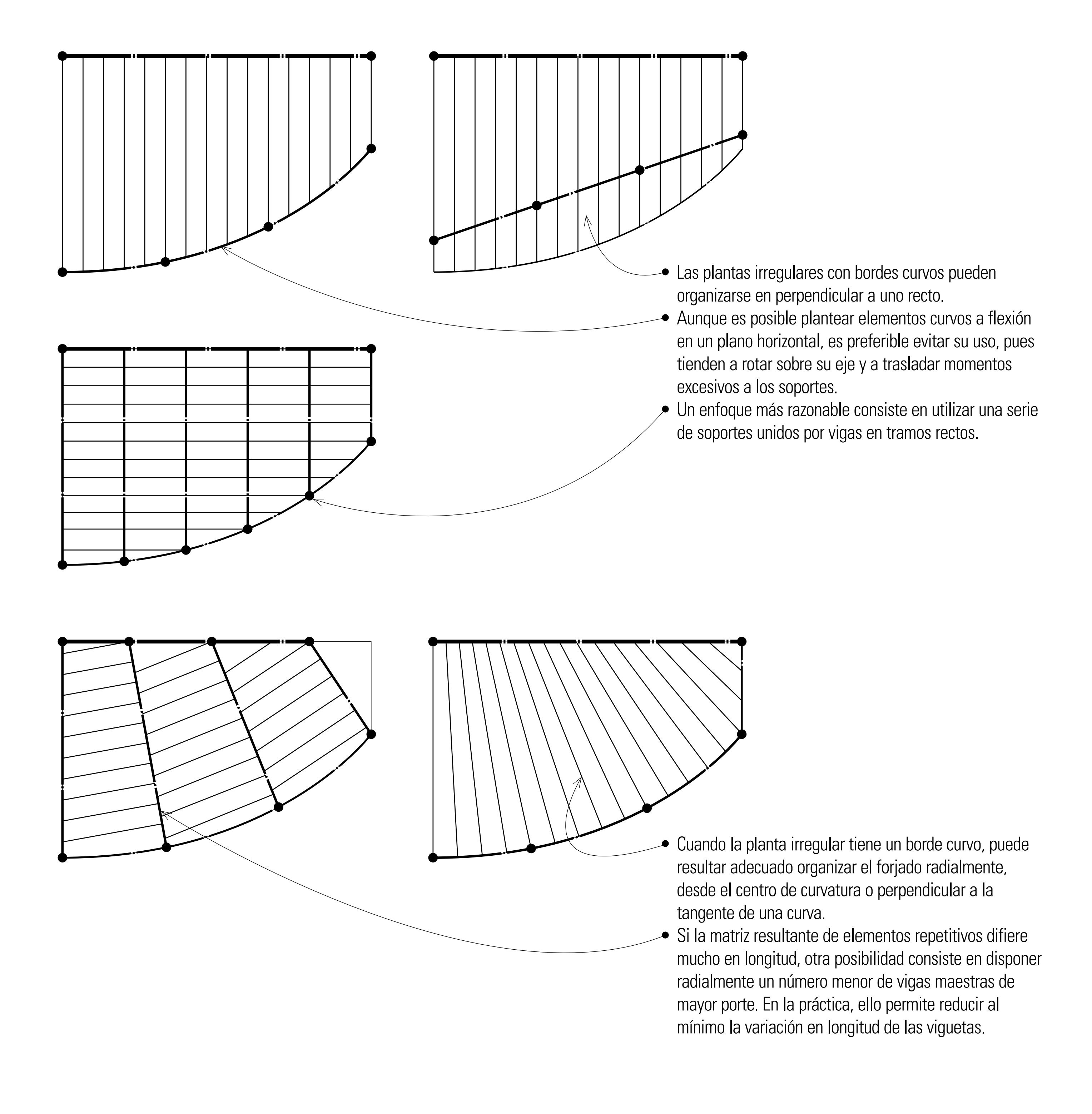
- Las cerchas verticales pueden proporcionar soporte para una serie de zunchos horizontales ajustados a la forma del borde.



- El sistema más eficiente suele ser aquel en el cual el nivel de elementos repetitivos, como las viguetas, se dispone en la dirección en la cual se produzcan las menores diferencias en términos de longitud. El nivel inferior tendrá un número menor de elementos y será más fácil ajustar cada uno a su longitud específica.
- En el caso de estructuras de acero o madera, cuando hay menor número de vigas o jácenas, y están más espaciadas, puede resultar práctico utilizar piezas de distinta sección para las distintas luces, o en el caso de los forjados de hormigón, modificar la cantidad y la longitud de la armadura.

- Los módulos no rectilíneos o poligonales pueden sugerir un esquema radial para la disposición de las vigas o jácenas, o para la organización de las viguetas.

- La elección de un esquema de entramado se convierte en un factor crítico cuando la estructura queda vista en el interior de un edificio.



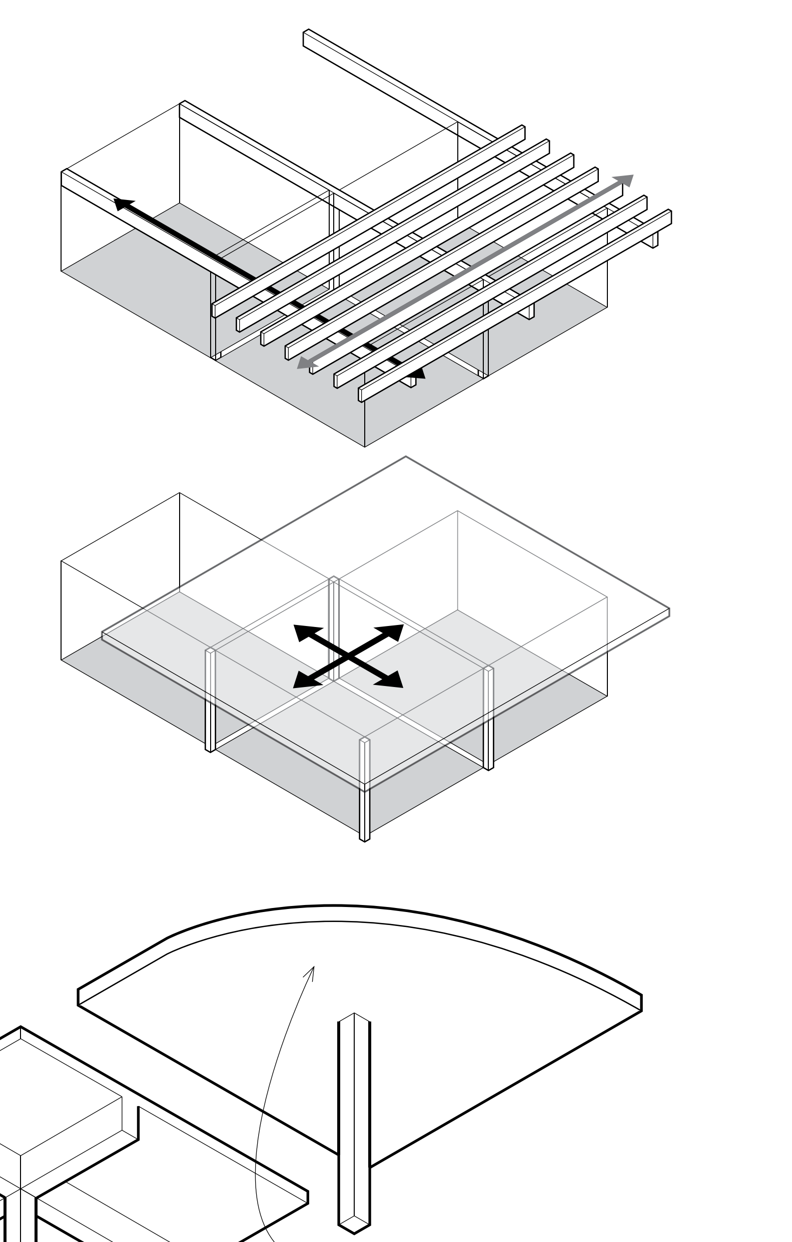
- Las plantas irregulares con bordes curvos pueden organizarse en perpendicular a uno recto.
- Aunque es posible plantear elementos curvos a flexión en un plano horizontal, es preferible evitar su uso, pues tienden a rotar sobre su eje y a trasladar momentos excesivos a los soportes.
- Un enfoque más razonable consiste en utilizar una serie de soportes unidos por vigas en tramos rectos.

- Cuando la planta irregular tiene un borde curvo, puede resultar adecuado organizar el forjado radialmente, desde el centro de curvatura o perpendicular a la tangente de una curva.
- Si la matriz resultante de elementos repetitivos difiere mucho en longitud, otra posibilidad consiste en disponer radialmente un número menor de vigas maestras de mayor porte. En la práctica, ello permite reducir al mínimo la variación en longitud de las viguetas.

Estructurar y organizar los tramos de borde y de esquina presenta desafíos en el diseño de las fachadas exteriores del edificio. Por ejemplo, los muros cortina dependen del entramado estructural de hormigón o acero sobre el cual se apoyan. La manera en la cual un muro cortina dobla la esquina, es decir, si mantiene o cambia su apariencia en cada uno de los frentes del edificio, a menudo depende de cómo está organizada la estructura de los tramos de borde y de esquina. Puesto que los forjados unidireccionales son direccionales, puede resultar difícil tratar de igual modo las fachadas adyacentes. Una ventaja de los sistemas bidireccionales es que las fachadas adyacentes pueden recibir el mismo tratamiento desde el punto de vista estructural.

Otro impacto está asociado a la medida en la cual los tramos de borde o esquina se prolongan más allá de los soportes perimetrales para crear voladizos en forjados y cubiertas. Esto es especialmente importante cuando se pretende apoyar un muro cortina en el borde del entramado.

La forma de ejecutar los voladizos marca una distinción entre las estructura de madera y las de hormigón o acero. Puesto que las uniones en madera no pueden transmitir momentos, en los entramados de madera las vigas o viguetas que sostienen los voladizos deben situarse en un plano distinto a las vigas o jácenas donde se apoyan. En el caso de estructuras de hormigón o acero, por el contrario, es posible colocar los elementos que sostienen el voladizo en el mismo plano que los elementos donde se apoyan.



- Las losas planas con o sin ábacos son sistemas bidireccionales capaces de prolongarse más allá de los soportes de borde o esquina en dos direcciones.
- Los sistemas de pórticos, ya sean unidireccionales o bidireccionales, recurren a vigas en las dos direcciones principales, aunque situadas al mismo nivel, para minimizar el consumo global de material.

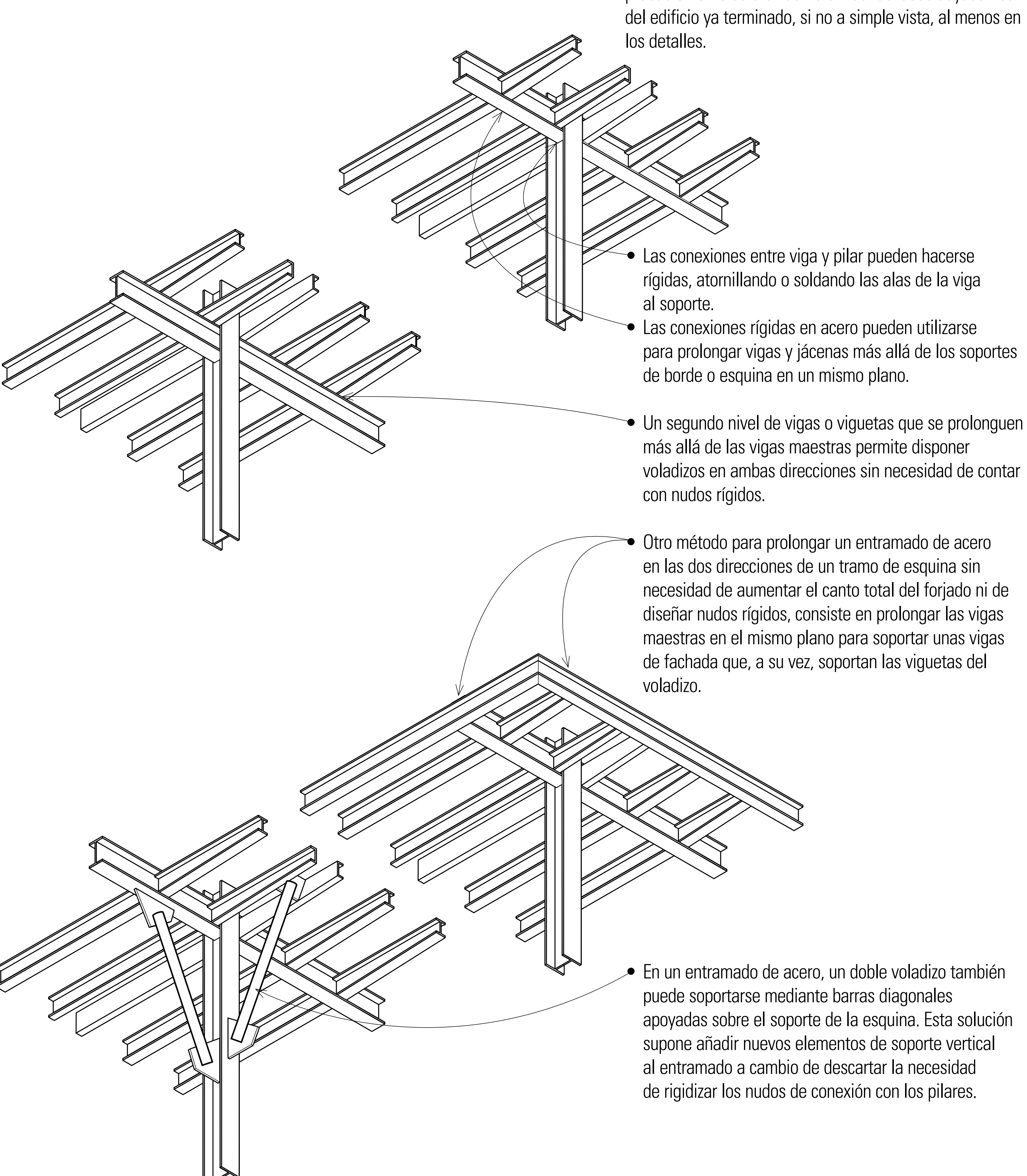
- La longitud de los voladizos es, por lo general, una fracción de la crujía. Una longitud de voladizo igual o mayor que la luz de la crujía produce un enorme momento flector en el apoyo del pilar y requiere una viga de gran canto.

Hormigón

Por su propia naturaleza, los sistemas de hormigón armado u hormigón in situ postensado proporcionan nudos rígidos capaces de transmitir momentos en las uniones de pilares, vigas y losa. Estas intersecciones pueden soportar los momentos producidos por voladizos en dos direcciones.

Acero

Los voladizos pueden organizarse en un mismo plano, con nudos que transmitan momentos, o mediante elementos continuos por encima de las vigas de apoyo. La direccionalidad del entramado unidireccional probablemente será evidente en las fachadas adyacentes del edificio ya terminado, si no a simple vista, al menos en los detalles.



- Las conexiones entre viga y pilar pueden hacerse rígidas, atornillando o soldando las alas de la viga al soporte.
- Las conexiones rígidas en acero pueden utilizarse para prolongar vigas y jácenas más allá de los soportes de borde o esquina en un mismo plano.

- Un segundo nivel de vigas o viguetas que se prolonguen más allá de las vigas maestras permite disponer voladizos en ambas direcciones sin necesidad de contar con nudos rígidos.

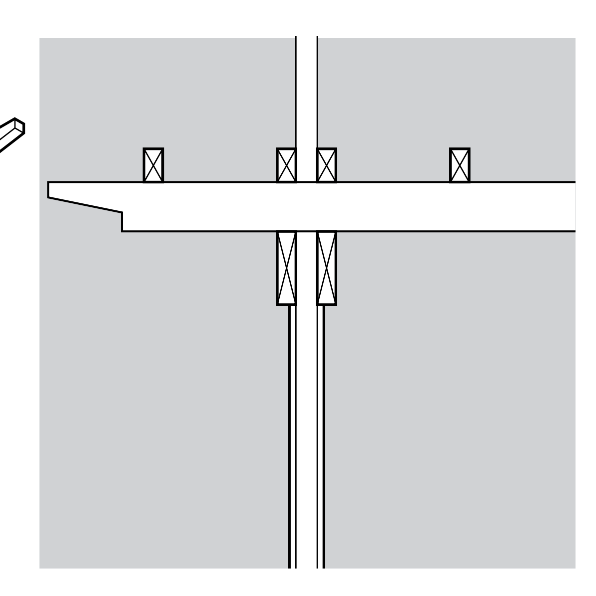
- Otro método para prolongar un entramado de acero en las dos direcciones de un tramo de esquina sin necesidad de aumentar el canto total del forjado ni de diseñar nudos rígidos, consiste en prolongar las vigas maestras en el mismo plano para soportar unas vigas de fachada que, a su vez, soportan las viguetas del voladizo.

- En un entramado de acero, un doble voladizo también puede soportarse mediante barras diagonales apoyadas sobre el soporte de la esquina. Esta solución supone añadir nuevos elementos de soporte vertical al entramado a cambio de descartar la necesidad de rigidizar los nudos de conexión con los pilares.

Madera

La direccionalidad de los sistemas unidireccionales se expresa de la forma más evidente en los sistemas de entramado de madera.

- Resulta virtualmente imposible desarrollar nudos rígidos en la construcción con madera. Para poder obtener un doble voladizo en la esquina, es preciso cambiar la dirección de las viguetas y prolongarlas más allá de las vigas donde se apoyan.

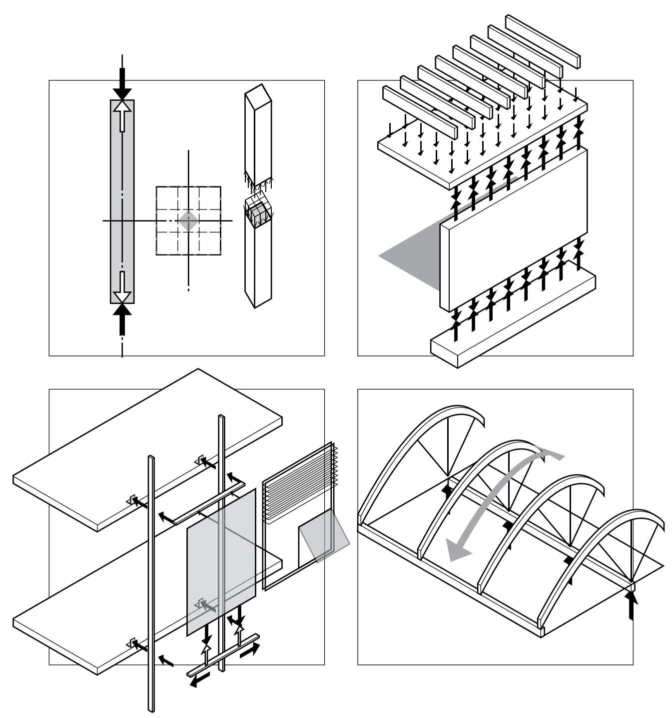


- Por lo general, los soportes exteriores son menores en sección, ya que tienen un área tributaria menor que los interiores. Al incorporar los voladizos, aumenta la carga asumida por los soportes de esquina hasta un nivel similar al de los soportes interiores, por lo cual pueden diseñarse para tener una sección aproximadamente igual.

- Una barra diagonal puede ayudar a soportar y ampliar el vuelo de una viga sobre un soporte de borde o esquina.

4

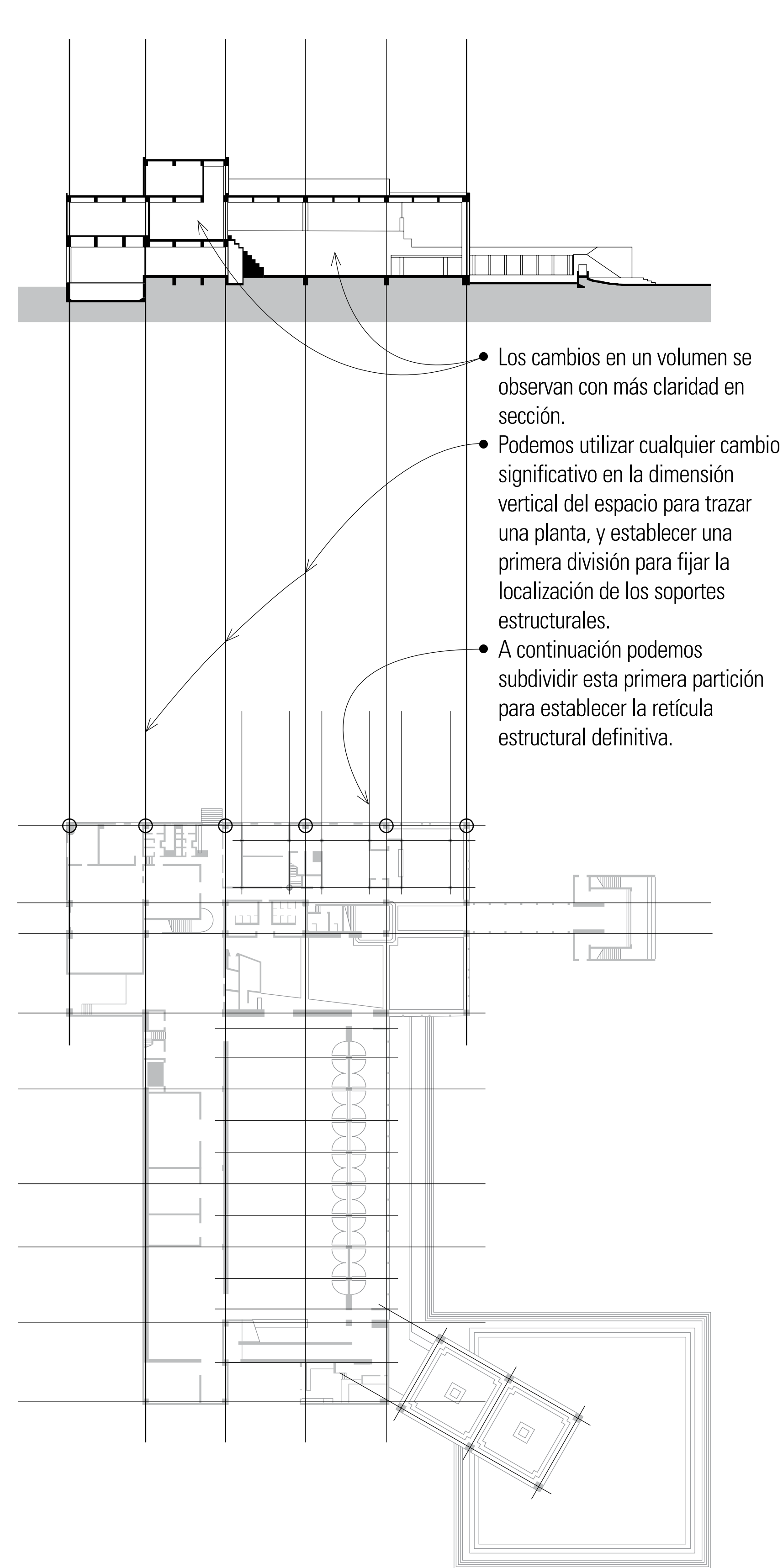
Elementos portantes verticales



Este capítulo aborda los elementos verticales de las estructuras; es decir, los soportes verticales sobre los cuales apoyan los forjados y los sistemas verticales de cerramiento que proporcionan refugio y protección respecto de los elementos climáticos, y ayudan a controlar los flujos de aire, calor y ruido en el interior y a través de los espacios interiores de un edificio.

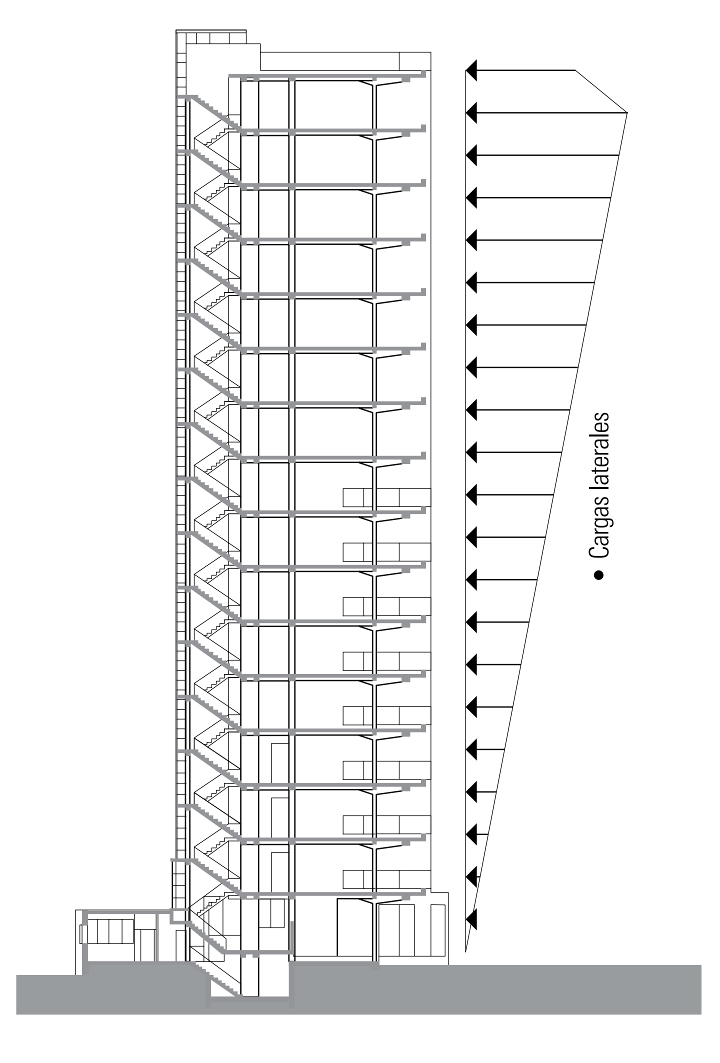
Sin duda, los sistemas portantes horizontales deben estar íntimamente relacionados con la distribución de los soportes verticales, bien se trate de una matriz de pilares y vigas, una serie de muros paralelos de carga, o una combinación de ambos. El patrón de estos soportes verticales debe coordinarse, a su vez, con la forma y la distribución deseada de los espacios interiores del edificio. Tanto los pilares como los muros tienen una presencia mayor en nuestro campo visual que los planos horizontales y, por ello, tienen mayor relevancia a la hora de definir un volumen discreto de espacio y proporcionar un sentimiento de abrigo y privacidad para quienes se encuentran en él. Por otra parte, sirven para separar un espacio de otro y para establecer un límite común entre los entornos interior y exterior.

Que las estructuras de cubierta se incluyan en este capítulo y no en el anterior se debe a que, aunque sean sistemas para salvar luces, tienen una componente vertical que debe considerarse en lo que se refiere al impacto que pueden tener en la forma exterior de los edificios, al igual que en la configuración del espacio interior.



- Los cambios en un volumen se observan con más claridad en sección.
- Podemos utilizar cualquier cambio significativo en la dimensión vertical del espacio para trazar una planta, y establecer una primera división para fijar la localización de los soportes estructurales.
- A continuación podemos subdividir esta primera partición para establecer la retícula estructural definitiva.

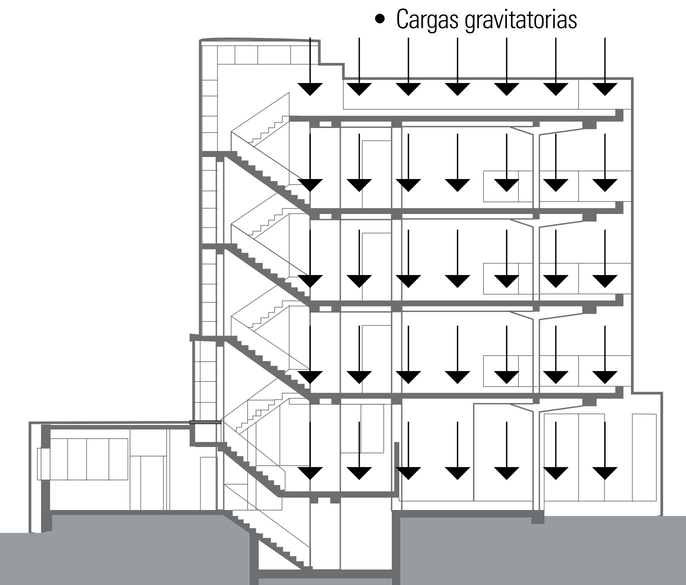
- Durante el proceso de diseño utilizamos plantas, secciones y alzados para establecer campos bidimensionales en los cuales poder estudiar los patrones formales y las relaciones de escala en una composición, así como para imponer un orden intelectual sobre un diseño. Aunque ofrezca una multiplicidad de puntos de vista, cualquier dibujo sencillo, ya sea una planta, una sección o un alzado, solo puede revelar una información parcial sobre una idea, estructura o construcción tridimensional. Hay una ambigüedad inherente respecto a la profundidad en la medida en la cual la tercera dimensión se encuentra truncada en estas representaciones. Por ello, necesitamos una serie de vistas diferentes, pero interrelacionadas, para describir completamente la naturaleza tridimensional de una forma, estructura o composición.



Escala del edificio

Podemos categorizar la escala vertical de los edificios en estructuras de baja, media y gran altura. Por lo general, las estructuras de baja altura tienen de una a tres plantas y no disponen de ascensor; las estructuras de media altura tienen un número moderado de plantas, normalmente entre 5 y 10, y están equipadas con ascensores; por último, las estructuras de gran altura tienen un número comparativamente elevado de plantas y deben estar equipadas con ascensores. Es útil pensar en estas categorías a la hora de elegir y diseñar un sistema estructural, ya que la escala de un edificio está directamente relacionada con el tipo de construcción que requiere y los tipos de usos y grados de ocupación que permite la normativa.

La escala vertical de un edificio también influye en la elección y el diseño de un sistema estructural. En el caso de estructuras de baja altura y luces reducidas, construidas con materiales pesados como el hormigón, el acero o la albañilería, el determinante primario de la forma estructural suele ser la magnitud de las sobrecargas. En estructuras de grandes luces construidas con materiales similares, el peso propio de la estructura puede convertirse en el factor principal para fijar una estrategia para la estructura. Por el contrario, en la medida en que el edificio crece en altura, no solo se acumulan las cargas gravitatorias sobre un número mayor de plantas, sino que las cargas laterales producidas por el viento o los terremotos se convierten en cuestiones críticas para el desarrollo de todo el sistema estructural.

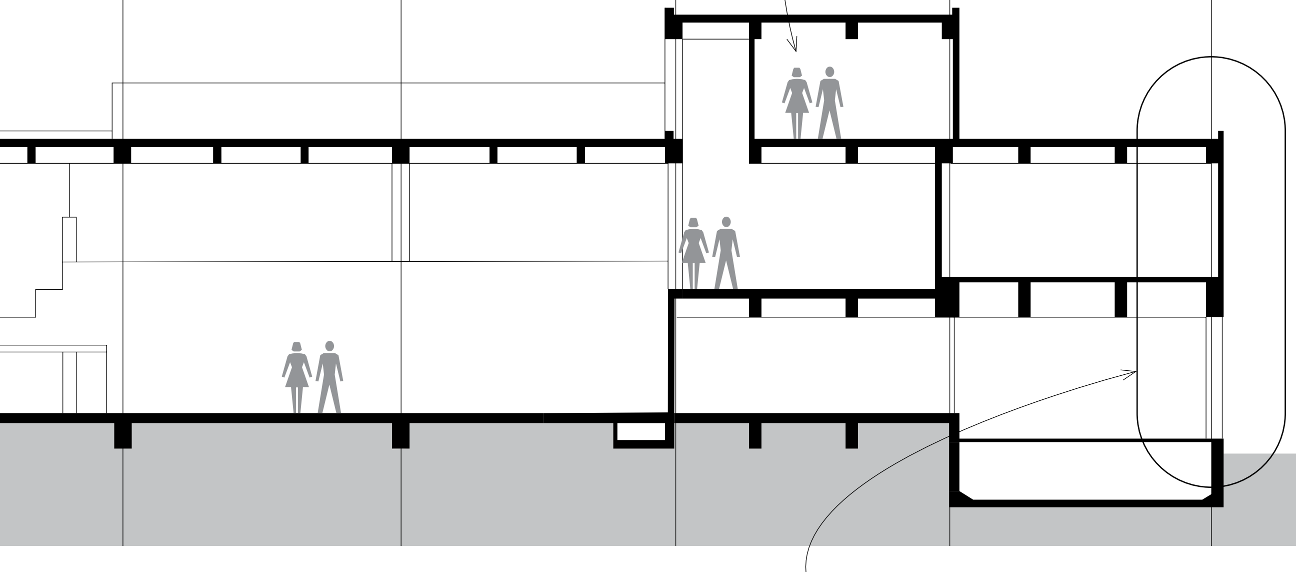


Para una discusión sobre las cargas laterales, véase el capítulo 5; sobre estructuras en altura, véase el capítulo 7.

Escala humana

De las tres dimensiones de un espacio, su altura tiene un efecto mayor en su escala que su anchura o longitud. Mientras que las paredes de una estancia proporcionan un cerramiento, la altura del techo determina cualidades como la sensación de refugio o intimidad. Elevar la altura del techo tendrá un efecto más significativo en la percepción de la escala que aumentar su anchura en una proporción similar. Mientras que una habitación modesta con una altura de techo convencional puede resultar confortable para la mayoría de la gente, un gran espacio de reunión con una altura de techo similar probablemente resulte opresivo. Los pilares y los muros de carga deben ser lo bastante altos como para establecer la escala deseada para toda una planta o para un único espacio dentro de un edificio. Igualmente, según aumente su altura libre, los pilares y muros de carga tendrán que aumentar su sección para mantener la estabilidad.

• La escala de los espacios interiores está determinada en gran medida por la relación entre la altura y las dimensiones horizontales, anchura y longitud, de los mismos.



• Los muros exteriores contribuyen al carácter visual de un edificio, tengan estos el peso y la opacidad de los muros de carga o la ligereza y la transparencia de los muros cortina apoyados sobre un entramado de estructuras de vigas y pilares.

Muros exteriores

Los muros son elementos constructivos verticales que delimitan, separan y protegen los espacios interiores de los edificios. Pueden constituir estructuras portantes de construcción homogénea o compuesta, calculadas para soportar cargas procedentes de los forjados y las cubiertas, o estar constituidos por un entramado de pilares y vigas con un relleno de paneles no estructurales. Las particiones interiores que dividen el espacio dentro de un edificio también pueden tener una función estructural, aunque no necesariamente. Su construcción debería admitir los materiales de los revestimientos y acabados previstos, proporcionar el grado de aislamiento acústico requerido y alojar, cuando sea necesario, conducciones, cableados y otros elementos de los sistemas de instalaciones.

Las aberturas o vanos para puertas y ventanas deben construirse de modo que cualquier carga situada por encima de los mismos se distribuya alrededor de los huecos y se evite que se transmita a las carpinterías de puertas y ventanas. Su tamaño y localización vienen determinadas por los requisitos de iluminación natural, ventilación, vistas y acceso físico, así como a las restricciones impuestas por el sistema estructural y los materiales modulares de los muros.

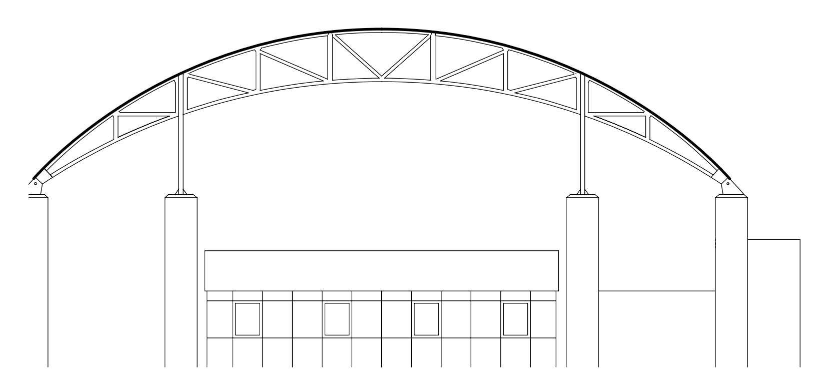
Estructuras de cubierta

El principal elemento de protección de un edificio es su cubierta. No solo protege los espacios interiores del sol, la lluvia y la nieve, sino que además tiene un impacto fundamental en la forma general del edificio y de los distintos espacios en los cuales está dividido. Por otro lado, la forma y la geometría de una estructura de cubierta vienen condicionadas por el modo como salva las luces entre soportes y genera una pendiente para evacuar la lluvia y la nieve derretida. Desde el punto de vista del diseño, el plano de cubierta resulta significativo por el impacto que ejerce sobre la forma y la silueta de un edificio dentro de su entorno.

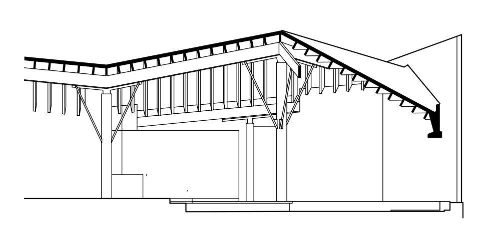
El plano de cubierta puede quedar oculto por los muros exteriores del edificio o fusionarse con ellos para enfatizar el volumen de la masa edificada. Puede expresarse como una única forma que protege y engloba una variedad de espacios bajo su dosel, o comprender una serie de sombrillas que articulan un conjunto de espacios dentro de un único edificio.

Un plano de cubierta puede extenderse hacia fuera por medio de voladizos que protejan del sol o la lluvia a puertas y ventanas, o prolongarse hacia abajo para relacionarse más íntimamente con el plano del terreno. En climas cálidos, puede elevarse para permitir el paso de la brisa refrescante a lo largo y a través de los espacios interiores de un edificio.

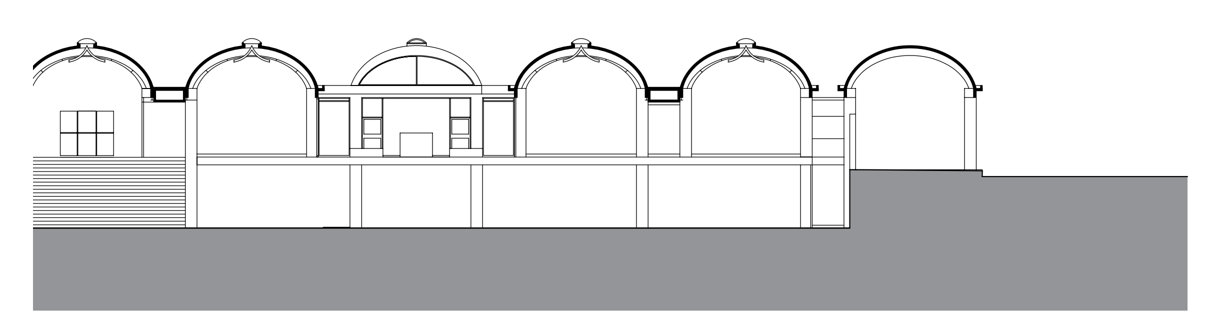
Tadao Ando, casa Koshino, Ashiya (Prefectura de Hyogo), Japón, 1979-1984.



Ken Yeang, Menara Mesiniaga (planta superior), Subang Jaya, Selangor, Malasia, 1989-1992.



Patkau Architects, casa Barnes, Nanaimo (Columbia Británica), Canadá, 1991-1993.



Louis I. Kahn, Kimbell Art Museum, Fort Worth (Texas), Estados Unidos, 1966-1972.

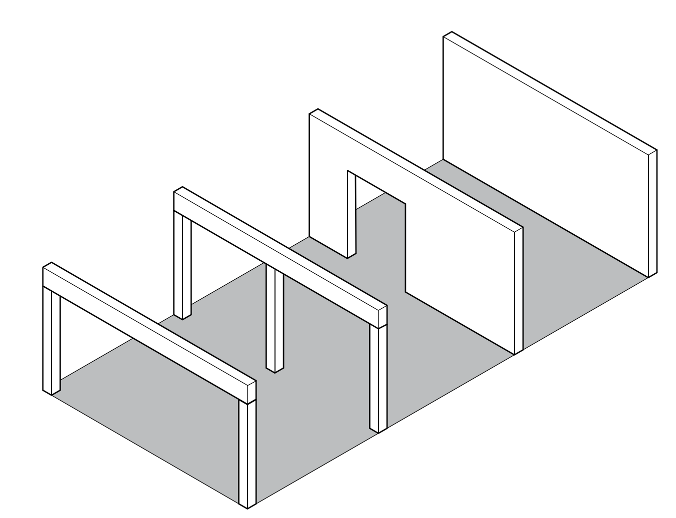
A lo largo de la historia, los avances en la tecnología y en los materiales de construcción han producido una transformación de los soportes verticales de la edificación, desde los muros de carga de piedras apiladas a los muros de albañilería con dinteles o arcos para formar vanos, a los entramados de postes y vigas de madera hasta los actuales pórticos rígidos de hormigón armado y acero.

Puesto que los muros exteriores sirven como piel de protección frente a las inclemencias atmosféricas, su construcción debe asumir el control de la transmisión de calor, aire, ruido, humedad y vapor de agua. La piel exterior, que puede formar parte de la estructura o estar adosada a la misma, debería contar con propiedades como la durabilidad y la resistencia frente a las acciones del sol, el viento y la lluvia. La normativa técnica especifica los grados exigibles de resistencia frente al fuego de muros exteriores, muros de carga y particiones interiores. Además de soportar las cargas verticales, los muros exteriores deben ser capaces de asumir las cargas horizontales provocadas por el viento. Si son lo bastante rígidos, pueden servir como elementos de arriostramiento y transferir las cargas laterales ocasionadas por el viento o los terremotos hasta los cimientos.

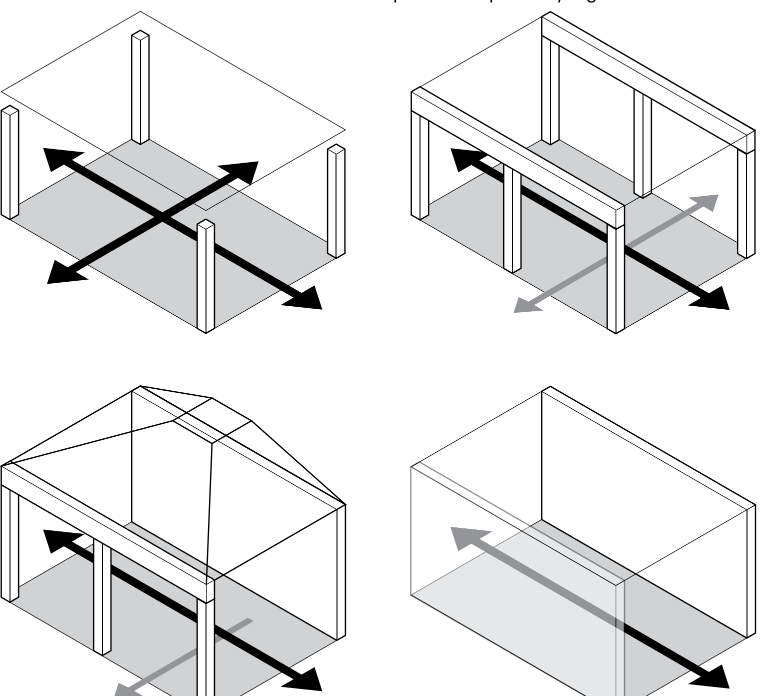
Los pilares y los muros tienen una mayor presencia en nuestro campo visual que los planos horizontales, y por ello constituyen instrumentos determinantes para definir un volumen discreto de espacio y proporcionar una sensación de abrigo y privacidad para quienes se encuentran en él. Por ejemplo, un entramado de vigas y pilares de madera, acero u hormigón ofrecen la oportunidad de establecer una serie de relaciones con los espacios adyacentes a los cuatro lados de un volumen. Para delimitar el espacio puede utilizarse uno cualquiera de los numerosos sistemas de tabiques o particiones no portantes que se anclan a la estructura y que están diseñados para soportar el viento, los impactos y otras cargas laterales.

Si en lugar de un entramado estructural se recurre a un par de muros de carga paralelos, el volumen resultante asumirá un claro componente direccional, orientado hacia los extremos libres del espacio. Cualquier abertura en los muros de carga tendrá limitaciones de tamaño y localización, con el fin de no debilitar la integridad estructural del muro. Si los cuatro lados del mismo volumen estuviesen delimitados por muros de carga, el espacio asumiría un carácter introvertido y dependería enteramente de las aberturas en los muros para establecer relaciones con los espacios adyacentes.

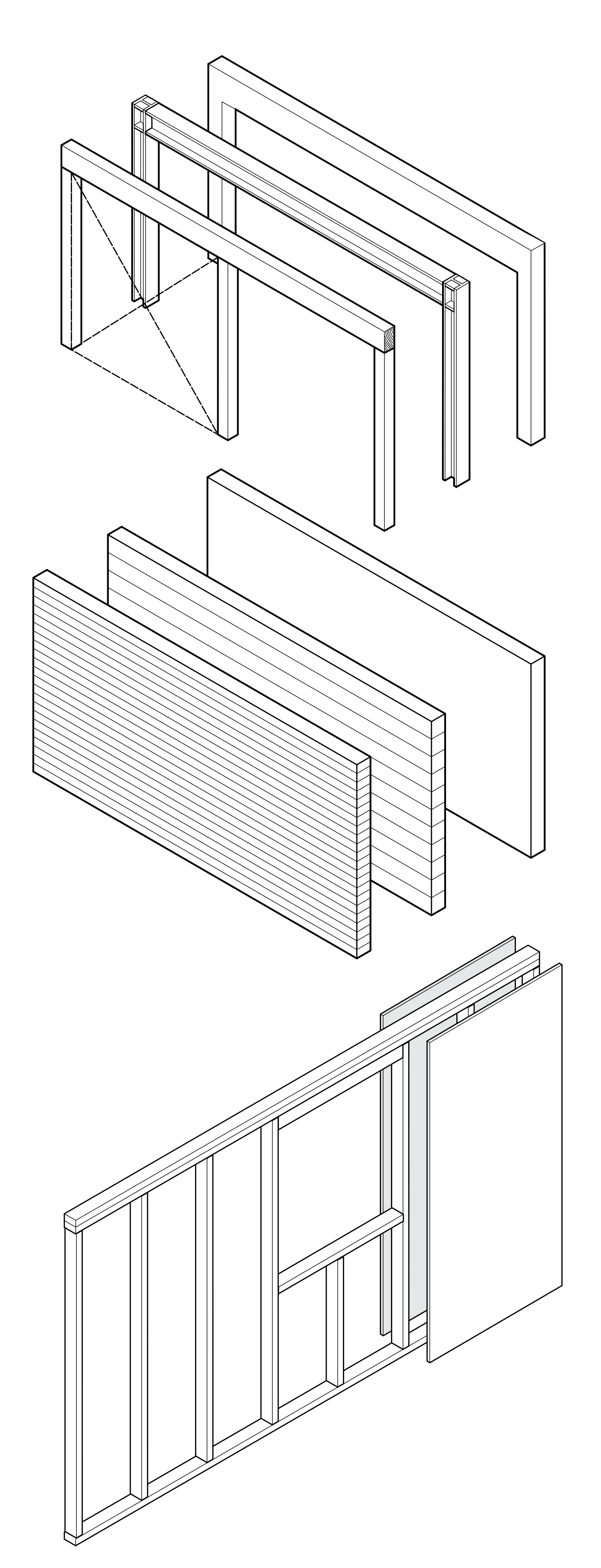
En cualquiera de los tres casos, el sistema estructural requerido para cubrir el espacio podría ser completamente horizontal o estar inclinado de muy diversas maneras, aportando nuevas variaciones a las cualidades espaciales y formales del volumen.



- Transformación de los elementos verticales de apoyo de las cargas impuestas por los forjados y las cubiertas: desde un muro de carga hasta un pórtico de pilares y vigas.



- El plano de la cubierta también influye en las cualidades físicas de un espacio, lo cual queda fuera de la presente discusión, y casi siempre tiene un carácter puramente visual. Puede expresar la forma de la estructura de una planta superior o de una cubierta, o estar formado por un plano suspendido de dicha estructura, encargado de alterar la escala de un espacio o definir distintas zonas espaciales dentro de una misma estancia.



Entramados estructurales

- Los pórticos de hormigón suelen tener nudos rígidos y cumplir los requisitos de construcción incombustible y resistente al fuego.
- Los pórticos de acero también son incombustibles y pueden diseñarse nudos rígidos, pero requieren un revestimiento de protección.
- Los entramados de madera requieren barras o planos de arriostramiento para su estabilidad lateral. Si cumplen los requisitos de sección mínima, y los muros exteriores son incombustibles y resistentes al fuego, se clasifican como construcción pesada de madera (tipo IV).
- Los pórticos de hormigón y acero pueden salvar luces mayores y asumir cargas de mayor entidad que las estructuras de madera.
- Los pórticos o entramados estructurales pueden soportar y aceptar una diversidad de sistemas de cerramiento y muros cortina.
- Cuando el entramado queda a la vista, la definición constructiva de los encuentros es un aspecto crítico por motivos estructurales y también visuales.

Muros de carga de hormigón o albañilería

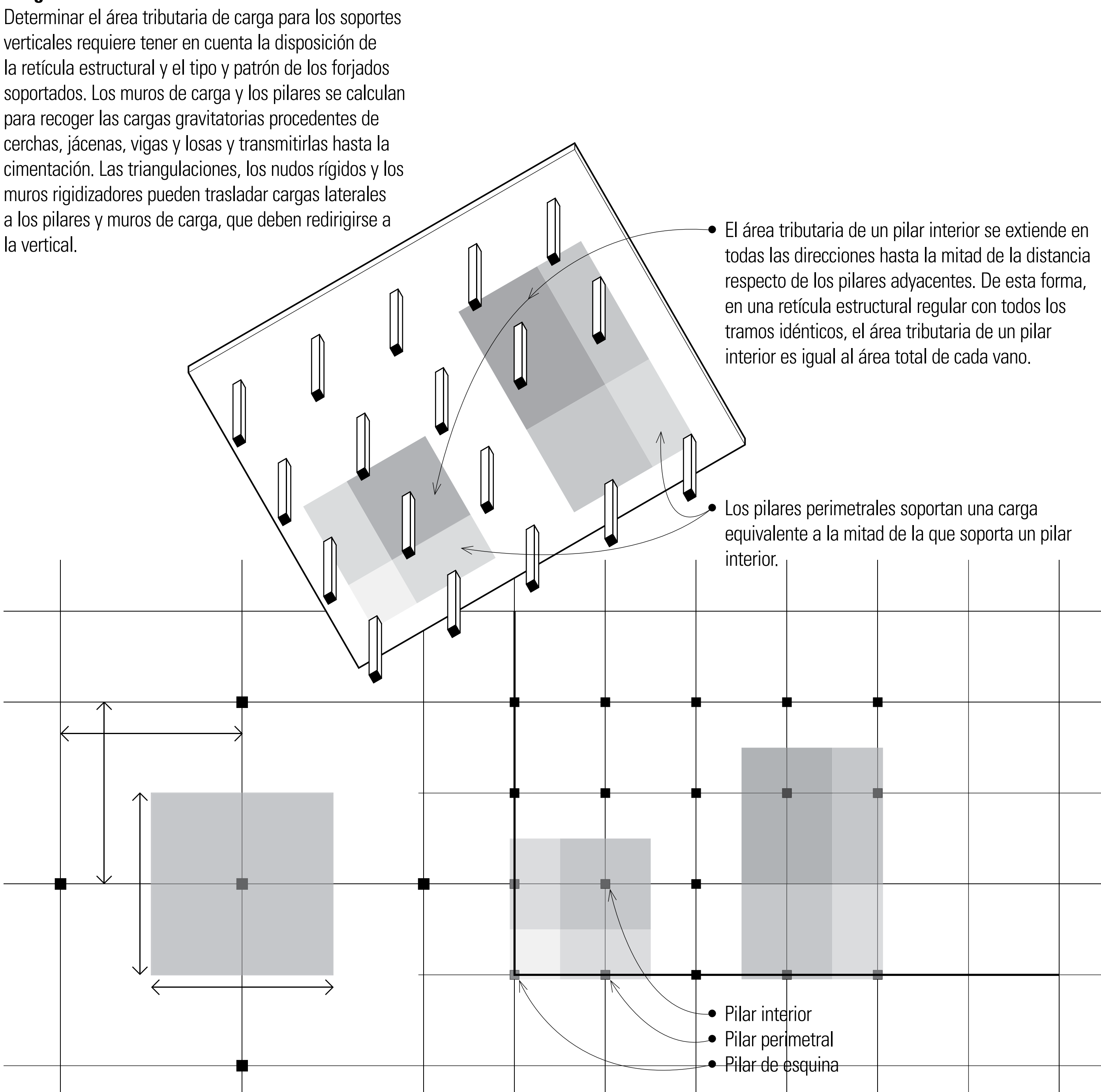
- La resistencia de los muros de hormigón o albañilería viene definida por su propia masa; son construcciones incombustibles por la norma.
- Los muros de hormigón o albañilería son resistentes a compresión, pero necesitan refuerzos para soportar los esfuerzos de tracción.
- Una relación adecuada entre grosor y altura, previsiones para garantizar la estabilidad lateral y una localización conveniente de las juntas de dilatación son factores críticos para el buen diseño y ejecución de un muro.
- Las caras de los muros pueden dejarse expuestas.

Muros de entramado metálico o de madera

- Los entramados de metal conformado en frío o madera se sitúan a distancias entre 40 y 60 cm a ejes.
- Los montantes asumen las cargas verticales mientras que los travesaños y las diagonales se encargan de rigidizar el plano del muro.
- Las cavidades del entramado pueden alojar aislamiento térmico, retardantes de vapor o conducciones y cableado de instalaciones.
- El entramado puede aceptar una diversidad de acabados interiores y exteriores, aunque algunos de ellos requieren un tablero de apoyo para su fijación.
- Los materiales de revestimiento determinan el grado de resistencia al fuego de todo el elemento constructivo.
- Los entramados de este tipo de muros pueden ensamblarse en obra o distribuirse en forma de paneles prefabricados.
- Los muros de entramado pueden adoptar formas flexibles gracias a la trabajabilidad de las piezas relativamente pequeñas y a los diversos sistemas disponibles de fijación.

Cargas tributarias

Determinar el área tributaria de carga para los soportes verticales requiere tener en cuenta la disposición de la retícula estructural y el tipo y patrón de los forjados soportados. Los muros de carga y los pilares se calculan para recoger las cargas gravitatorias procedentes de cerchas, jácenas, vigas y losas y transmitirlas hasta la cimentación. Las triangulaciones, los nudos rígidos y los muros rigidizadores pueden trasladar cargas laterales a los pilares y muros de carga, que deben redirigirse a la vertical.

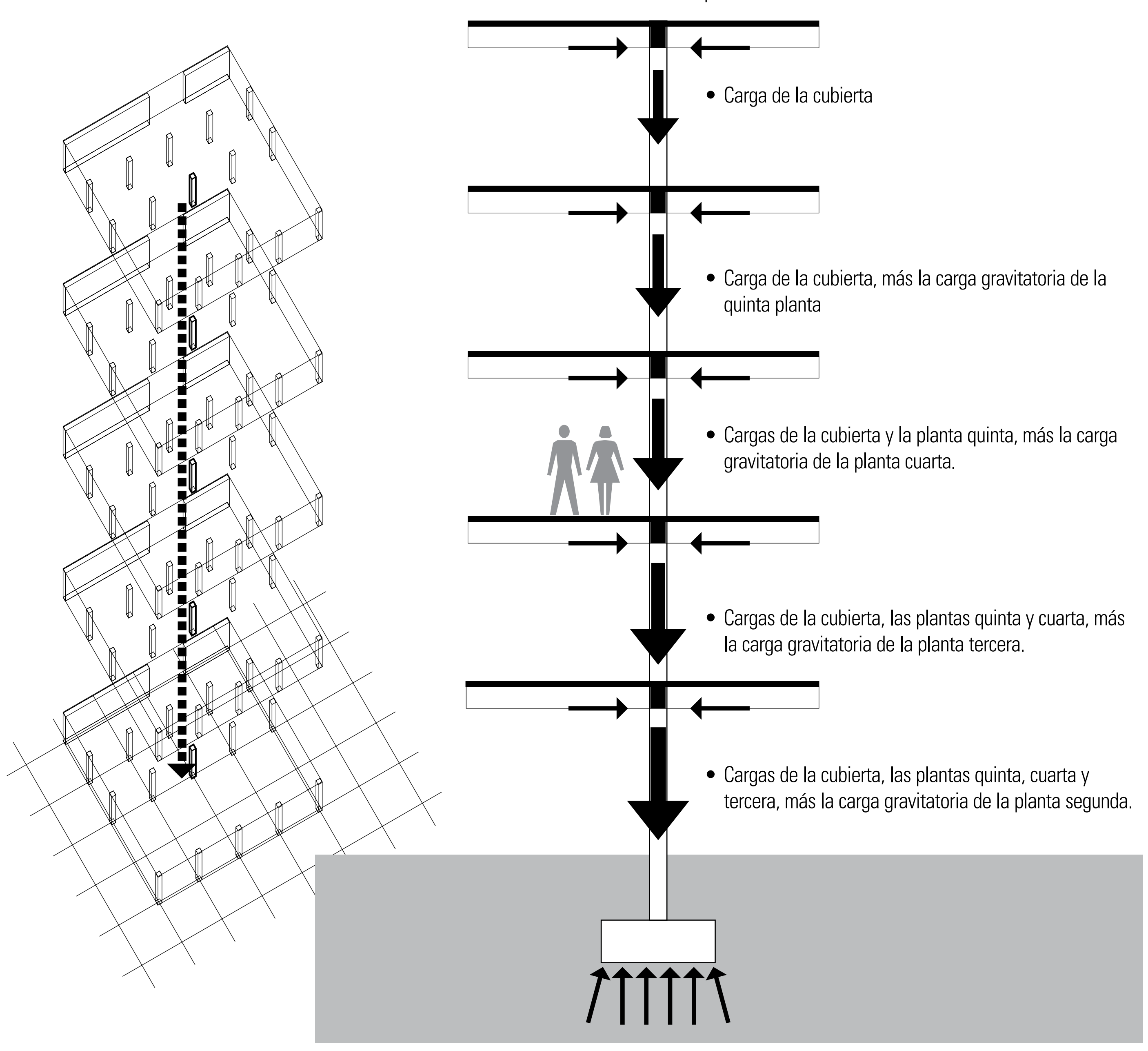


- El área tributaria de una carga gravitatoria sobre un pilar o un muro de carga específico viene determinada por la distancia del mismo hasta el soporte vertical adyacente, lo cual equivale a la luz del vano soportado, ya sea de forjado o cubierta.

- Omitir un pilar de la retícula básicamente implica transferir las cargas que deberían asumir a los pilares adyacentes. Lo cual supone, además, duplicar la luz a salvar por el forjado o cubierta y mayor canto en los elementos que trabajan a flexión.
- Los pilares localizados en las esquinas exteriores soportan el equivalente a una cuarta parte de la carga asociada a cada tramo del forjado o cubierta.

Acumulación de cargas

Los pilares redirigen las cargas gravitatorias procedentes de vigas y jácenas en forma de cargas verticales concentradas. En edificios de múltiples plantas, estas cargas gravitatorias se acumulan y van aumentando según van desde la cubierta hasta los cimientos, bajando por pilares y muros de carga a lo largo de las sucesivas plantas.

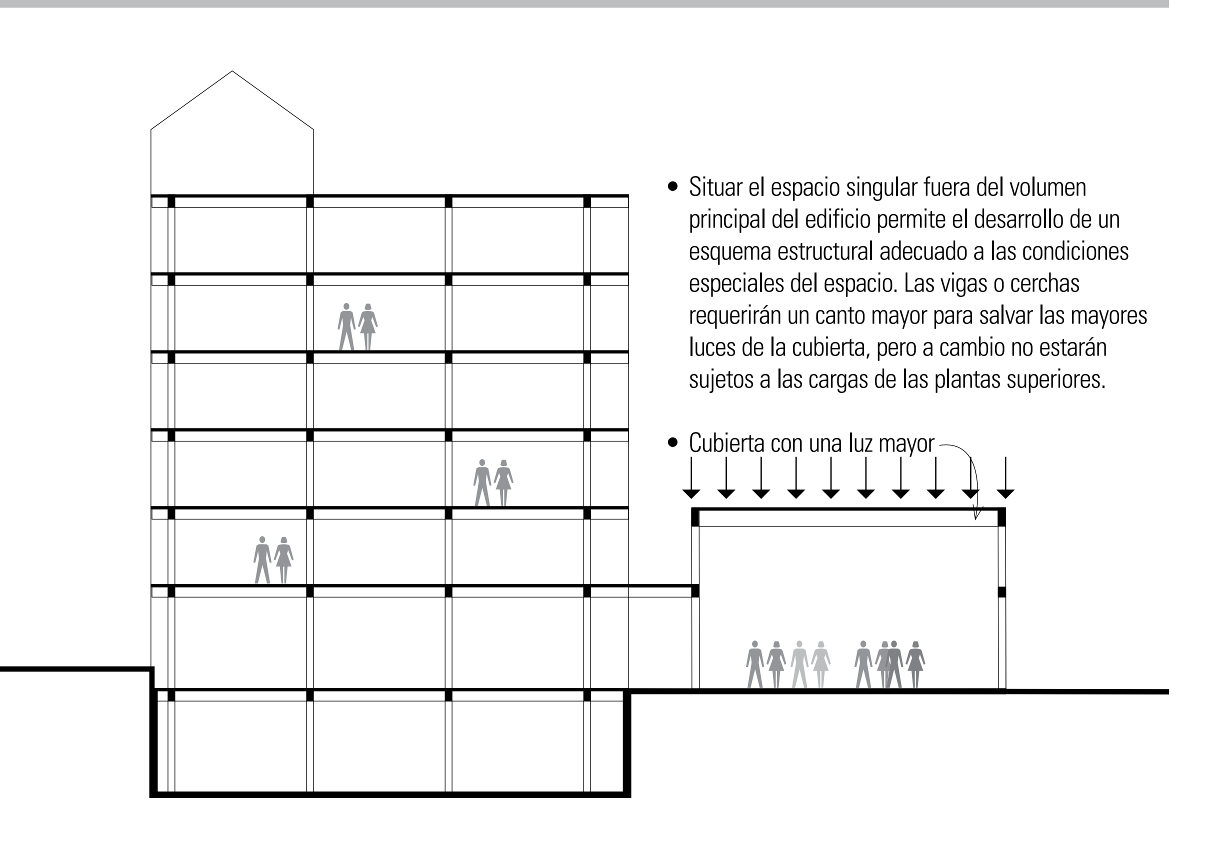


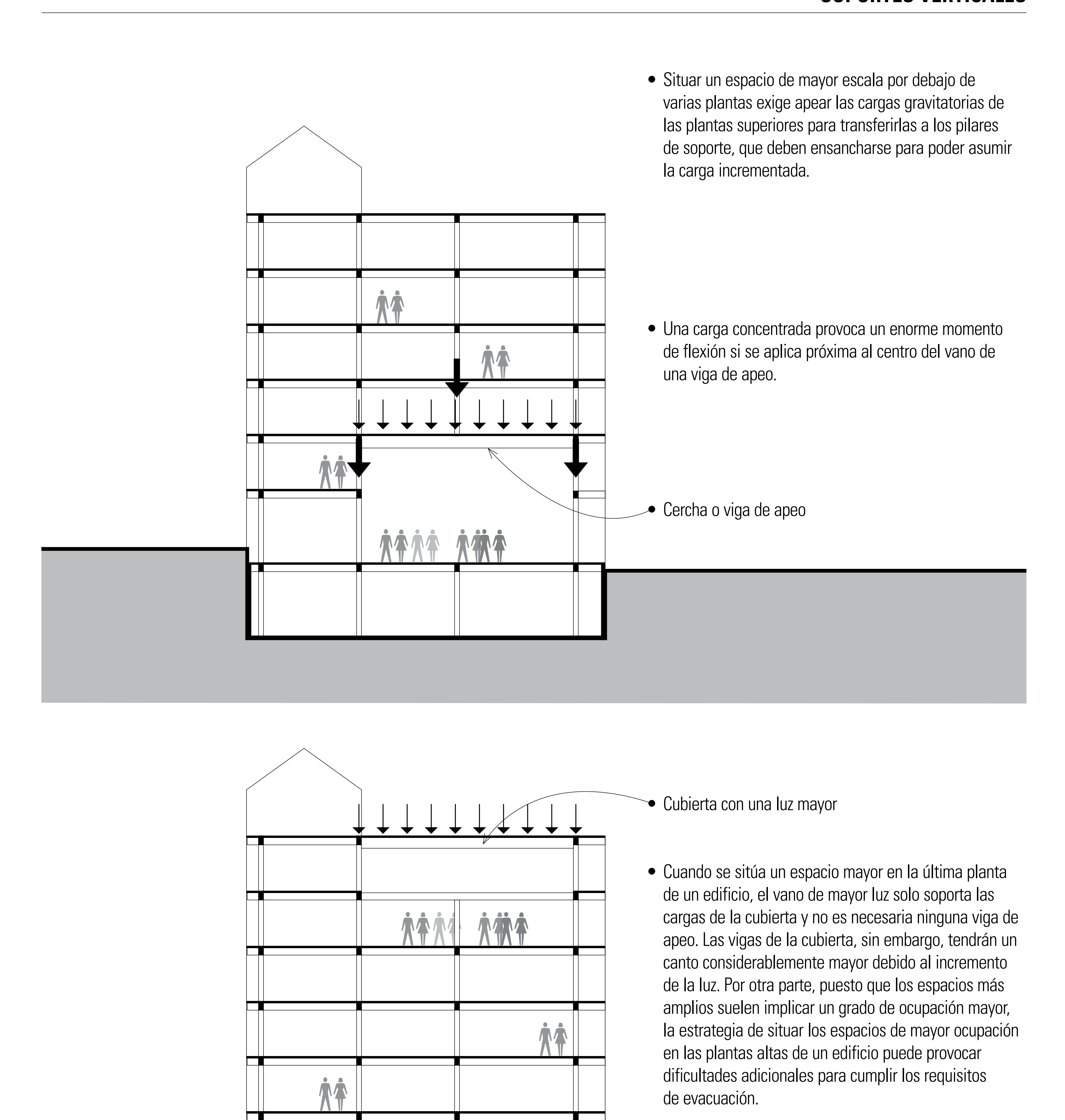
- La carga total en la zapata o cimentación es la suma de todas las cargas gravitatorias de la cubierta y todas las plantas interpuestas.

Continuidad vertical

El recorrido más eficaz para las cargas gravitatorias es descender directamente por pilares y muros de carga alineados verticalmente hasta la cimentación. Esto significa que la localización de los soportes verticales debería seguir la misma retícula en todas las plantas del edificio, incluyendo la cubierta. Cualquier desviación en el recorrido de una carga vertical requiere que esta sea redirigida horizontalmente a través de una cercha o viga de apeo hasta otro soporte vertical, provocando que el elemento sometido a flexión tenga que asumir una carga mayor y necesite un canto también mayor. Aunque siempre resulta deseable una retícula regular de soportes alineados verticalmente, el programa del edificio puede requerir un volumen espacial mucho más grande del que puede acomodarse en el módulo de la retícula. En esta página y en la siguiente se ilustran varias alternativas para acomodar espacios excepcionalmente amplios dentro de un edificio.

- A menudo se requiere el empleo de cerchas o vigas de apeo para acomodar espacios con un volumen excepcional o espacios diáfanos mayores que los proporcionados por los módulos regulares de una retícula estructural convencional.
- Las vigas de apeo deberían cubrir luces lo más pequeñas posibles.
- Una carga concentrada aplicada cerca del apoyo de un elemento que trabaje a flexión produce esfuerzos cortantes extremadamente altos.
- Cuando se producen rupturas abruptas en la sección de un edificio, normalmente la mejor opción consiste en apoyar el forjado sobre un muro de carga o una serie de pilares distribuidos a lo largo del plano de ruptura.

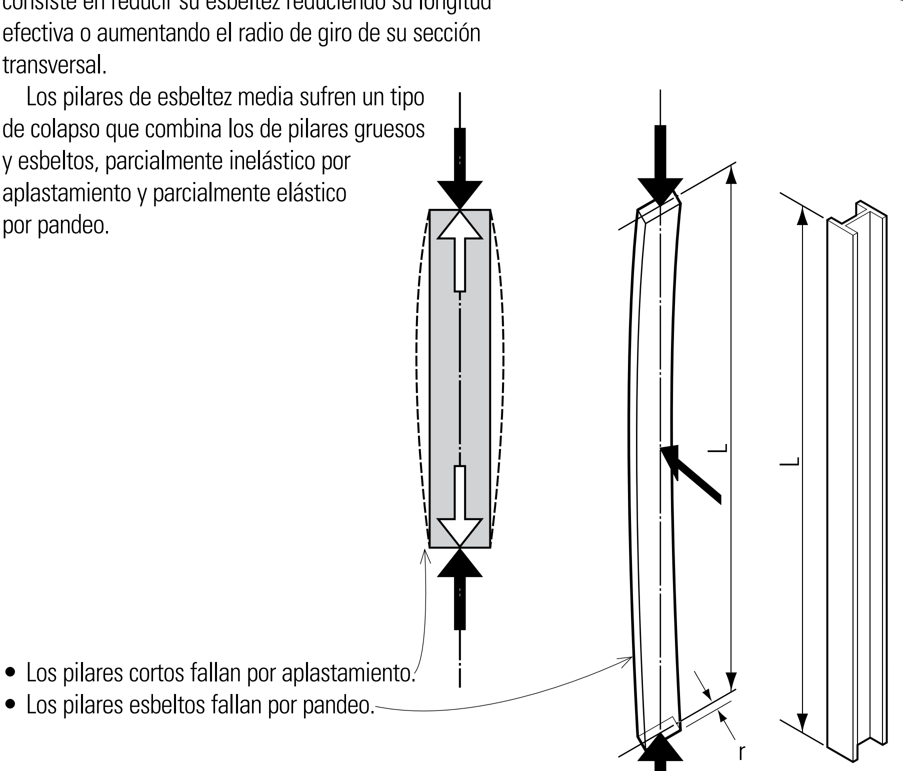



• Situar un espacio de mayor escala por debajo de varias plantas exige apear las cargas gravitatorias de las plantas superiores para transferirlas a los pilares de soporte, que deben ensancharse para poder asumir la carga incrementada.
• Una carga concentrada provoca un enorme momento de flexión si se aplica próxima al centro del vano de una viga de apeo.
• Cercha o viga de apeo
• Cubierta con una luz mayor
• Cuando se sitúa un espacio mayor en la última planta de un edificio, el vano de mayor luz solo soporta las cargas de la cubierta y no es necesaria ninguna viga de apeo. Las vigas de la cubierta, sin embargo, tendrán un canto considerablemente mayor debido al incremento de la luz. Por otra parte, puesto que los espacios más amplios suelen implicar un grado de ocupación mayor, la estrategia de situar los espacios de mayor ocupación en las plantas altas de un edificio puede provocar dificultades adicionales para cumplir los requisitos de evacuación.

Los pilares son elementos estructurales rígidos y relativamente esbeltos, diseñados principalmente para soportar cargas axiales de compresión aplicadas sobre sus extremos. Los pilares relativamente cortos y gruesos están sujetos a colapsar por aplastamiento, más que por pandeo, lo cual ocurre cuando las tensiones producidas en la sección por las cargas de compresión superan la resistencia del material. Una carga excéntrica produce, sin embargo, cierto momento de flexión, lo cual tiene como consecuencia una distribución desigual de las tensiones en la sección.

Los pilares largos y esbeltos corren el riesgo de colapsar por pandeo más que por aplastamiento. El pandeo supone una inestabilidad lateral o de torsión en elementos estructurales esbeltos, inducida por los esfuerzos de compresión antes de alcanzar el límite elástico de resistencia del material. Sometido a una carga de pandeo, un pilar comienza a flexionarse lateralmente y es incapaz de generar las reacciones internas necesarias para recuperar su condición lineal. Cualquier carga adicional causará mayores flexiones en el pilar hasta que se produce su colapso por dicha flexión. Cuanto mayor es la esbeltez de un pilar, menor es la tensión crítica que inducirá su pandeo. A la hora de calcular un pilar, un objetivo primario consiste en reducir su esbeltez reduciendo su longitud efectiva o aumentando el radio de giro de su sección transversal.

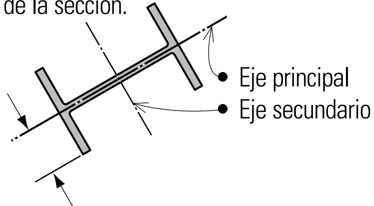
Los pilares de esbeltez media sufren un tipo de colapso que combina los de pilares gruesos y esbeltos, parcialmente inelástico por aplastamiento y parcialmente elástico por pandeo.



- Los pilares cortos fallan por aplastamiento.
- Los pilares esbeltos fallan por pandeo.

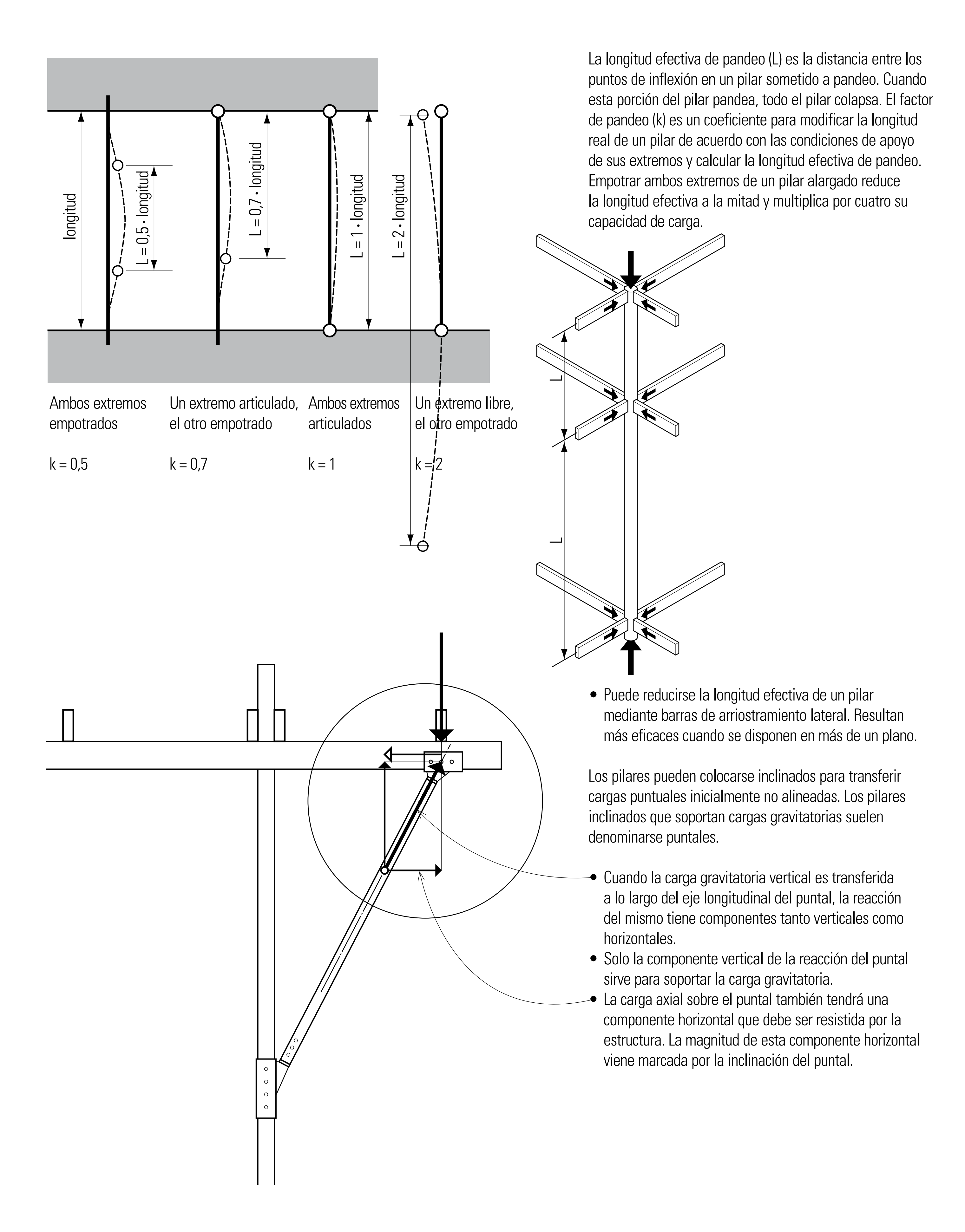
- Las cargas externas crean tensiones internas en los elementos estructurales.

- El núcleo central o área de Kern de cualquier sección horizontal de un pilar o muro de carga es aquella por donde debe pasar la resultante de todas las cargas de compresión para que toda la sección esté sometida exclusivamente a tensiones de compresión. Una carga de compresión aplicada fuera de este núcleo central provocará esfuerzos de tracción en parte de la sección.



- El radio de giro (r) es la distancia respecto al eje en el cual podría asumirse que está concentrada toda la masa de la sección. En la sección de un pilar, el radio de giro es igual a la raíz cuadrada del cociente entre el momento de inercia y el área.
- La esbeltez de un pilar resulta de la relación entre su longitud efectiva (L) y el menor de sus radios de giro.

- En el caso de secciones asimétricas, el pandeo tenderá a producirse en la dirección del eje menor o de la dimensión menor.

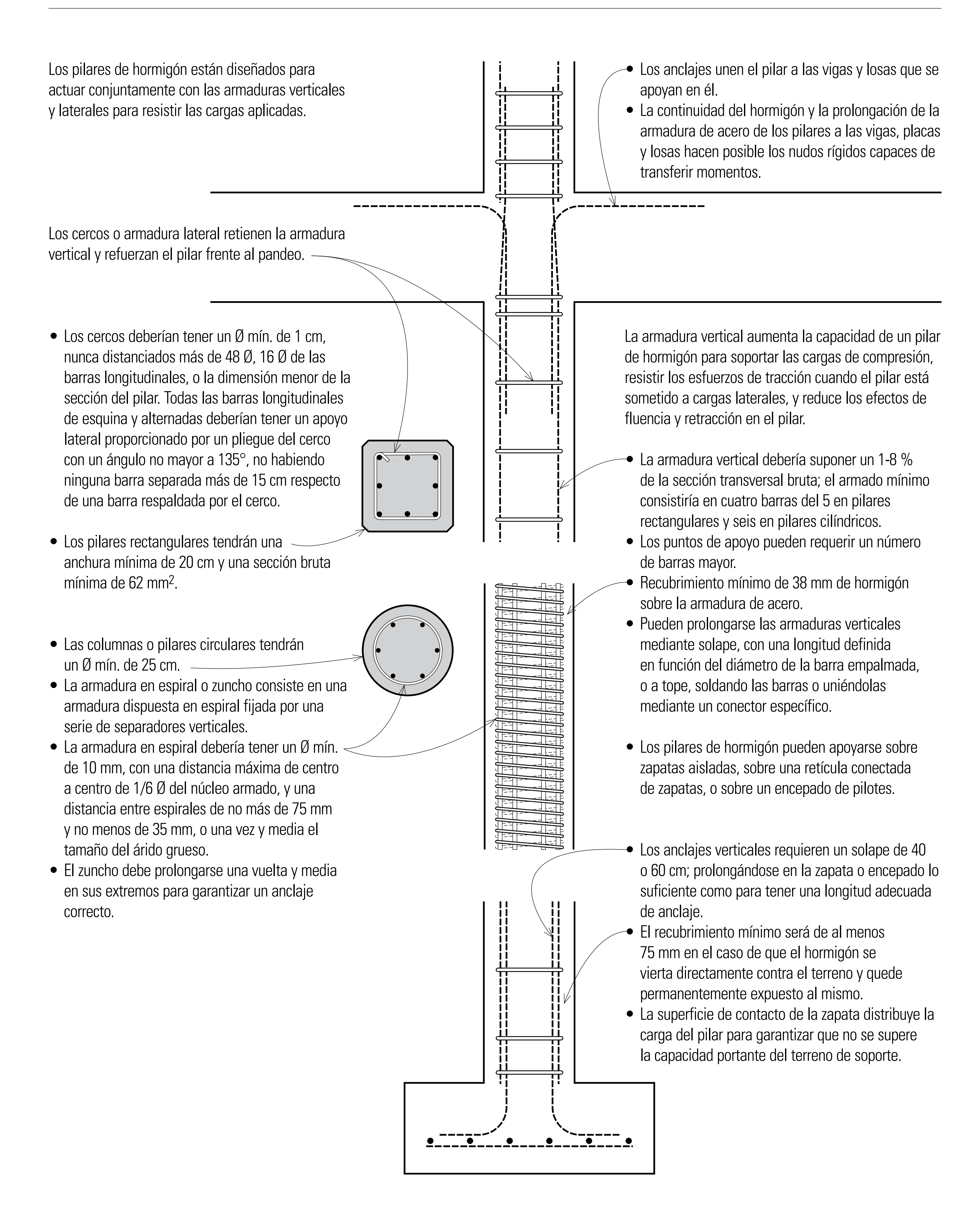


La longitud efectiva de pandeo (L) es la distancia entre los puntos de inflexión en un pilar sometido a pandeo. Cuando esta porción del pilar pandea, todo el pilar colapsa. El factor de pandeo (k) es un coeficiente para modificar la longitud real de un pilar de acuerdo con las condiciones de apoyo de sus extremos y calcular la longitud efectiva de pandeo. Empotrar ambos extremos de un pilar alargado reduce la longitud efectiva a la mitad y multiplica por cuatro su capacidad de carga.

- Puede reducirse la longitud efectiva de un pilar mediante barras de arriostramiento lateral. Resultan más eficaces cuando se disponen en más de un plano.

Los pilares pueden colocarse inclinados para transferir cargas puntuales inicialmente no alineadas. Los pilares inclinados que soportan cargas gravitatorias suelen denominarse puntales.

- Cuando la carga gravitatoria vertical es transferida a lo largo del eje longitudinal del puntal, la reacción del mismo tiene componentes tanto verticales como horizontales.
- Solo la componente vertical de la reacción del puntal sirve para soportar la carga gravitatoria.
- La carga axial sobre el puntal también tendrá una componente horizontal que debe ser resistida por la estructura. La magnitud de esta componente horizontal viene marcada por la inclinación del puntal.



Los pilares de hormigón están diseñados para actuar conjuntamente con las armaduras verticales y laterales para resistir las cargas aplicadas.

- Los anclajes unen el pilar a las vigas y losas que se apoyan en él.
- La continuidad del hormigón y la prolongación de la armadura de acero de los pilares a las vigas, placas y losas hacen posible los nudos rígidos capaces de transferir momentos.

Los cercos o armadura lateral retienen la armadura vertical y refuerzan el pilar frente al pandeo.

- Los cercos deberían tener un Ø mín. de 1 cm, nunca distanciados más de 48 Ø, 16 Ø de las barras longitudinales, o la dimensión menor de la sección del pilar. Todas las barras longitudinales de esquina y alternadas deberían tener un apoyo lateral proporcionado por un pliegue del cerco con un ángulo no mayor a 135°, no habiendo ninguna barra separada más de 15 cm respecto de una barra respaldada por el cerco.
- Los pilares rectangulares tendrán una anchura mínima de 20 cm y una sección bruta mínima de 62 mm^2.

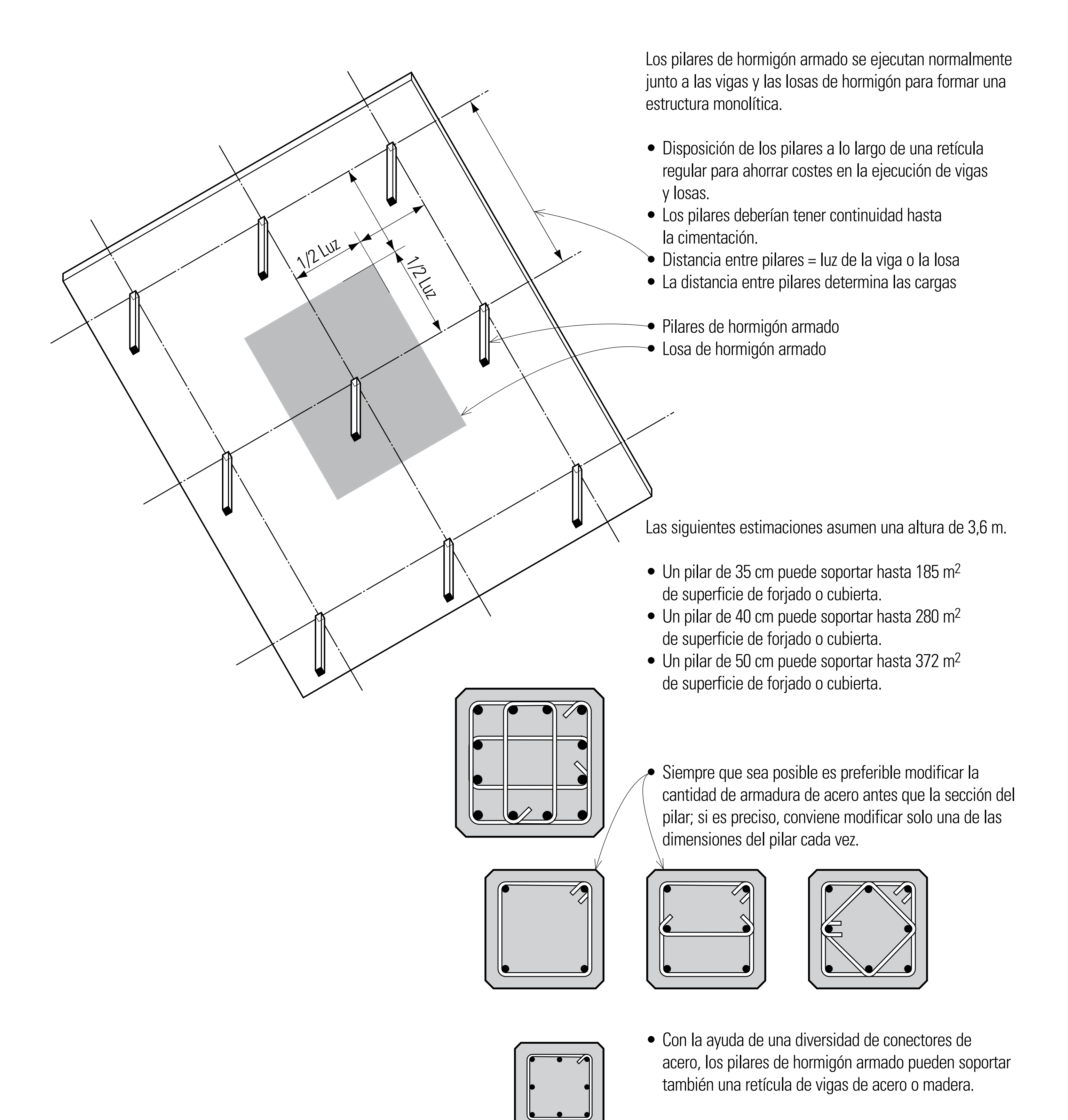
La armadura vertical aumenta la capacidad de un pilar de hormigón para soportar las cargas de compresión, resistir los esfuerzos de tracción cuando el pilar está sometido a cargas laterales, y reduce los efectos de fluencia y retracción en el pilar.

- La armadura vertical debería suponer un 1-8 % de la sección transversal bruta; el armado mínimo consistiría en cuatro barras del 5 en pilares rectangulares y seis en pilares cilíndricos.
- Los puntos de apoyo pueden requerir un número de barras mayor.
- Recubrimiento mínimo de 38 mm de hormigón sobre la armadura de acero.
- Pueden prolongarse las armaduras verticales mediante solape, con una longitud definida en función del diámetro de la barra empalmada, o a tope, soldando las barras o uniéndolas mediante un conector específico.

- Las columnas o pilares circulares tendrán un Ø mín. de 25 cm.
- La armadura en espiral o zuncho consiste en una armadura dispuesta en espiral fijada por una serie de separadores verticales.
- La armadura en espiral debería tener un Ø mín. de 10 mm, con una distancia máxima de centro a centro de 1/6 Ø del núcleo armado, y una distancia entre espirales de no más de 75 mm y no menos de 35 mm, o una vez y media el tamaño del árido grueso.
- El zuncho debe prolongarse una vuelta y media en sus extremos para garantizar un anclaje correcto.

- Los pilares de hormigón pueden apoyarse sobre zapatas aisladas, sobre una retícula conectada de zapatas, o sobre un encepado de pilotes.

- Los anclajes verticales requieren un solape de 40 o 60 cm; prolongándose en la zapata o encepado lo suficiente como para tener una longitud adecuada de anclaje.
- El recubrimiento mínimo será de al menos 75 mm en el caso de que el hormigón se vierta directamente contra el terreno y quede permanentemente expuesto al mismo.
- La superficie de contacto de la zapata distribuye la carga del pilar para garantizar que no se supere la capacidad portante del terreno de soporte.



Los pilares de hormigón armado se ejecutan normalmente junto a las vigas y las losas de hormigón para formar una estructura monolítica.

- Disposición de los pilares a lo largo de una retícula regular para ahorrar costes en la ejecución de vigas y losas.
- Los pilares deberían tener continuidad hasta la cimentación.
- Distancia entre pilares = luz de la viga o la losa
- La distancia entre pilares determina las cargas

- Pilares de hormigón armado
- Losa de hormigón armado

Las siguientes estimaciones asumen una altura de 3,6 m.

- Un pilar de 35 cm puede soportar hasta 185 m^2 de superficie de forjado o cubierta.
- Un pilar de 40 cm puede soportar hasta 280 m^2 de superficie de forjado o cubierta.
- Un pilar de 50 cm puede soportar hasta 372 m^2 de superficie de forjado o cubierta.

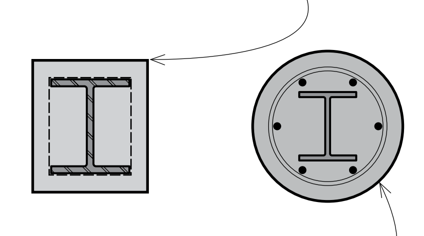
- Siempre que sea posible es preferible modificar la cantidad de armadura de acero antes que la sección del pilar; si es preciso, conviene modificar solo una de las dimensiones del pilar cada vez.

- Con la ayuda de una diversidad de conectores de acero, los pilares de hormigón armado pueden soportar también una retícula de vigas de acero o madera.

Las secciones utilizadas con mayor frecuencia son los perfiles en H de ala gruesa. Resultan adecuados para conectar con vigas en las dos direcciones, y todas sus superficies son accesibles para realizar conexiones soldadas o atornilladas. Otros perfiles utilizados para formar pilares son los tubos redondos y cuadrados o rectangulares. Las secciones de los pilares también pueden prefabricarse mediante la combinación de varios perfiles y pletinas para adaptar la sección del pilar a las necesidades de cada caso.

- Perfil H
- Perfil H con pletinas
- Doble U con presillas

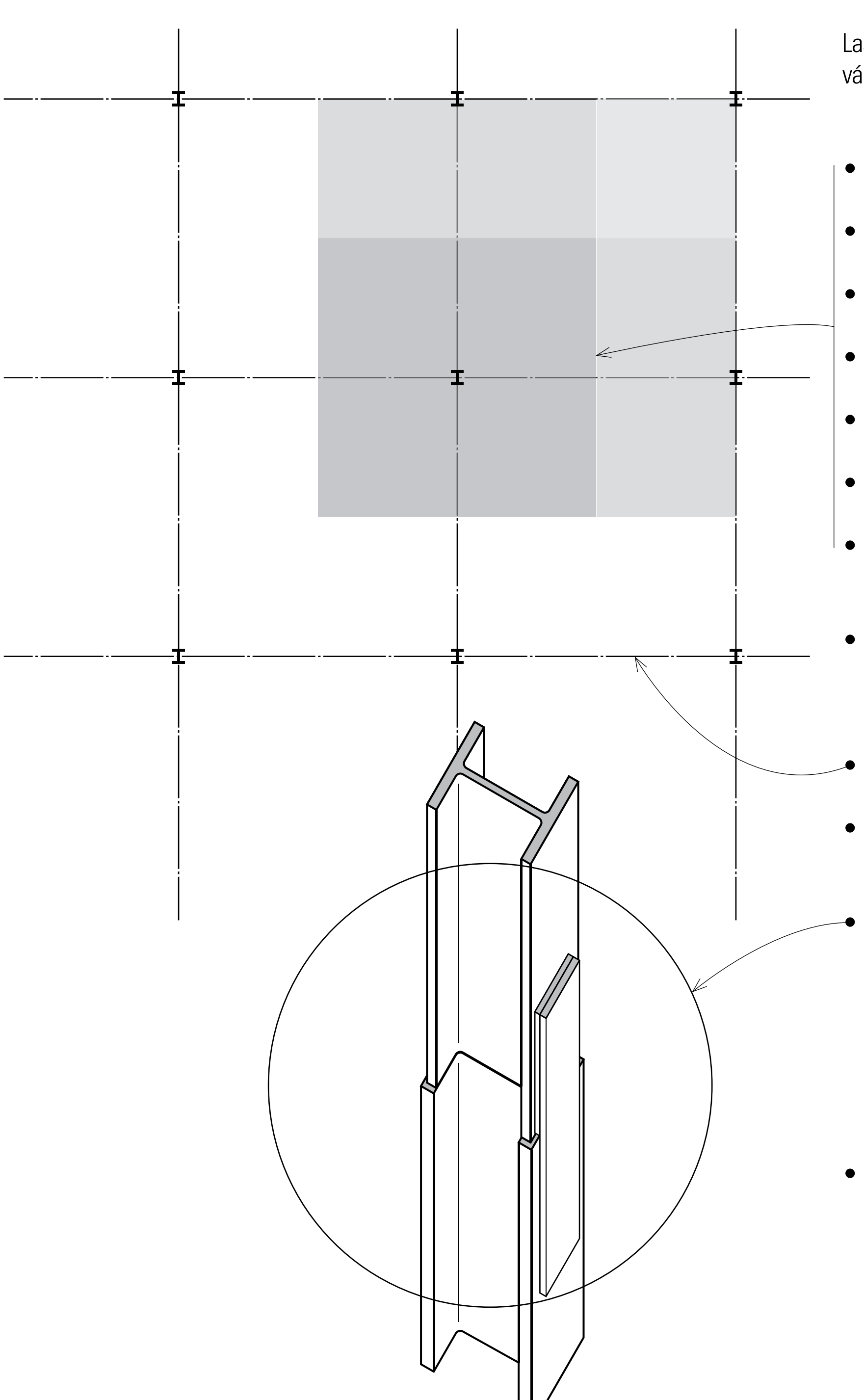
- Los pilares compuestos son pilares de acero estructural con una envoltura de hormigón de al menos 64 mm de grosor y armado con una malla de acero.



- Los pilares mixtos son pilares de acero estructural con una envoltura de hormigón armado que incluya armadura tanto vertical como helicoidal.

- Doble H con presillas
- Tubo rectangular
- Tubo redondo

- Es conveniente orientar las almas de los pilares en la dirección del eje corto del entramado estructural o en la dirección en la cual la estructura está más expuesta a cargas laterales.
- En los pilares perimetrales, conviene orientar las alas de los mismos hacia el exterior para facilitar la conexión de los muros cortina con el entramado estructural.
- La resistencia frente a cargas laterales producidas por el viento o los terremotos, requiere el uso de planos y barras de arriostramiento, o de nudos rígidos capaces de transmitir momentos.
- Puesto que el acero puede perder su resistencia muy rápidamente en un incendio, es necesario plantear revestimientos y conexiones resistentes frente al fuego. Este aislamiento puede añadir hasta 20 cm a las dimensiones del pilar de acero.
- En algunos sistemas constructivos, el acero estructural puede dejarse a la vista si el edificio está protegido por un sistema automático de extinción de incendios.



La carga asumible por un pilar de acero depende de su sección transversal y de su relación de esbeltez (L/r), donde (L) es la longitud libre del pilar en milímetros y (r) es el radio menor de giro de la sección transversal del pilar.

Las siguientes recomendaciones y valores estimados son válidas para longitudes efectivas de 3,7 m.

- Un pilar de tubo de acero 4 × 4 puede soportar hasta 70 m^2 de forjado o cubierta.
- Un pilar de tubo de acero 6 × 6 puede soportar hasta 223 m^2 de forjado o cubierta.
- Un pilar de perfil HEB 6 × 6 puede soportar hasta 70 m^2 de forjado o cubierta.
- Un pilar de perfil HEB 8 × 8 puede soportar hasta 279 m^2 de forjado o cubierta.
- Un pilar de perfil HEB 10 × 10 puede soportar hasta 418 m^2 de forjado o cubierta.
- Un pilar de perfil HEB 12 × 12 puede soportar hasta 557 m^2 de forjado o cubierta.
- Un pilar de perfil HEB 14 × 14 puede soportar hasta 1.115 m^2 de forjado o cubierta.

- Los entramados de acero resultan más eficientes cuando los pilares están organizados para soportar una retícula regular de jácenas, vigas y viguetas.

- Distancia entre pilares = luz de la viga

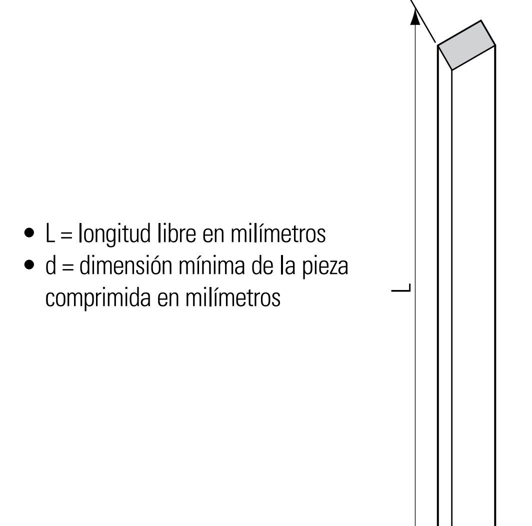
- En pilares que soporten cargas pesadas, tengan una altura mayor o contribuyan a la estabilidad lateral de una estructura se necesitarán mayores masa y sección.
- Los pilares de acero pueden reforzarse sin aumentar su tamaño mediante el empleo de un acero de mayor resistencia o de una versión más gruesa del mismo perfil. Cuando el tamaño de pilares alineados verticalmente deba modificarse de una planta a otra, debe mantenerse centrada el área de los pilares de cada planta.

- Debido a que la estructura perimetral de un edificio a menudo tendrá que asumir la carga extra del cerramiento exterior, así como implicarse en la estabilidad de la estructura frente a cargas laterales, se puede asumir, en la fase preliminar de diseño, que serán necesarios pilares del mismo tamaño que los interiores.

Pilares de madera
Los pilares de madera pueden ser macizos, compuestos o de tablones ensamblados. A la hora de elegir un tipo de pilar de madera habría que tener en cuenta los siguientes aspectos: la especie, el grado estructural, el módulo de elasticidad y las tensiones admisibles a compresión, flexión y cortante en función del uso previsto. Además debe prestarse atención a las condiciones concretas de carga y a los tipos de uniones empleados. La carencia de maderas procedentes de árboles maduros ha reducido la disponibilidad de madera natural de la máxima resistencia estructural, aumentando la importancia del uso de las maderas laminadas y los tableros de fibra paralela (PSL) en los elementos estructurales más grandes y con requisitos estructurales más exigentes.

Los pilares y postes de maderas están sometidos a cargas axiales de compresión. Su fallo puede provenir del aplastamiento de las fibras de madera si se supera el grado máximo de tensión admisible en la dirección paralela a las fibras. La capacidad de carga de un pilar también viene determinada por su relación de esbeltez. Según aumenta la esbeltez de un pilar, mayor es la probabilidad de fallo por pandeo.

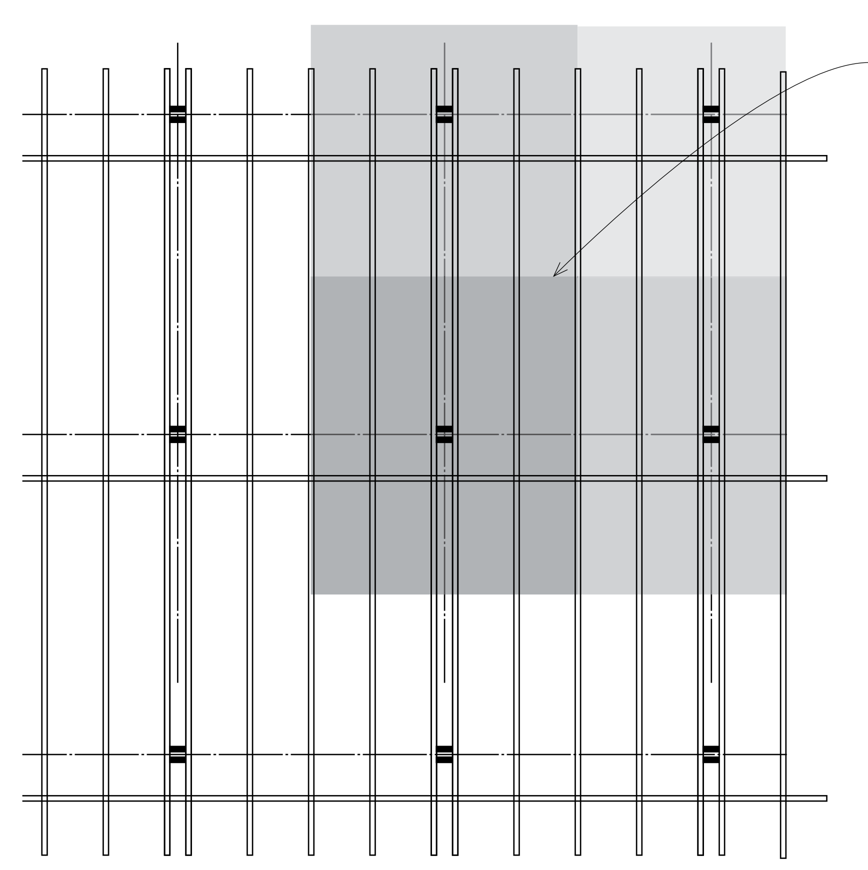
- L/d < 50 en pilares macizos o compuestos
- L/d < 80 para piezas individuales de un pilar de tablones ensamblados



- L = longitud libre en milímetros
- d = dimensión mínima de la pieza comprimida en milímetros

- Los pilares de madera natural deberían estar adecuadamente curados.
- Los pilares compuestos pueden ser encolados (laminados) o fijados mecánicamente. Los pilares laminados presentan mayores tensiones admisibles a compresión que los pilares de madera natural, mientras que los pilares compuestos mediante fijación mecánica nunca alcanzan la resistencia de un pilar macizo de las mismas dimensiones y materiales.

- Los pilares de tablones ensamblados consisten en dos o más piezas, separadas en sus partes centrales, que se encuentran fijadas en sus extremos y algunos puntos intermedios por piezas intermedias a las cuales se unen mediante pernos o conectores.



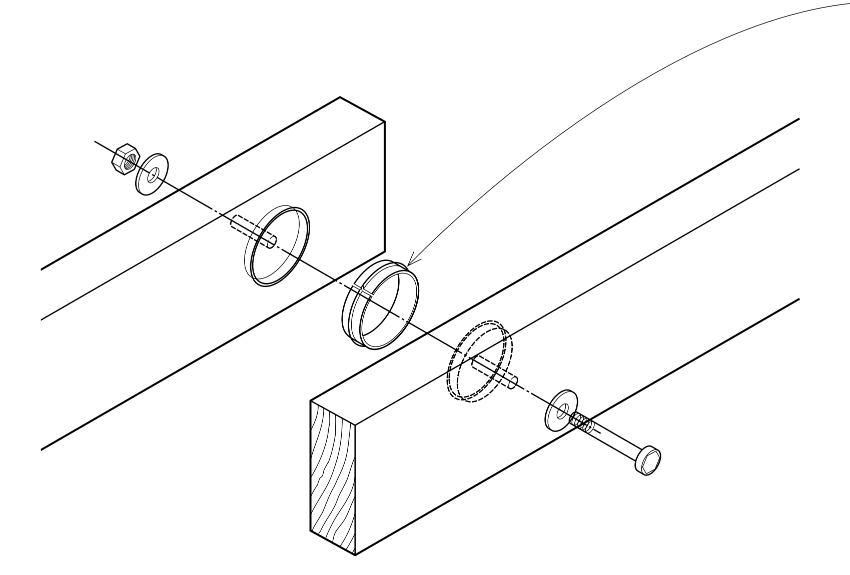
Los siguientes son valores estimados para pilares de madera.

- Pilares de 6 × 6 pueden soportar hasta 46 m^2 de forjado o cubierta.
- Pilares de 8 × 8 pueden soportar hasta 93 m^2 de forjado o cubierta.
- Pilares de 10 × 10 pueden soportar hasta 232 m^2 de forjado o cubierta.

- Se asume una altura libre de 3,6 m para los pilares.
- Se requieren secciones mayores para pilares que soporten cargas pesadas, se eleven a alturas mayores o resistan además cargas laterales. La capacidad portante de un pilar de madera se puede aumentar, aparte de eligiendo una sección mayor, recurriendo a especies con un mayor módulo de elasticidad o con una mayor resistencia a compresión en la dirección paralela a las fibras.

Conectores para madera

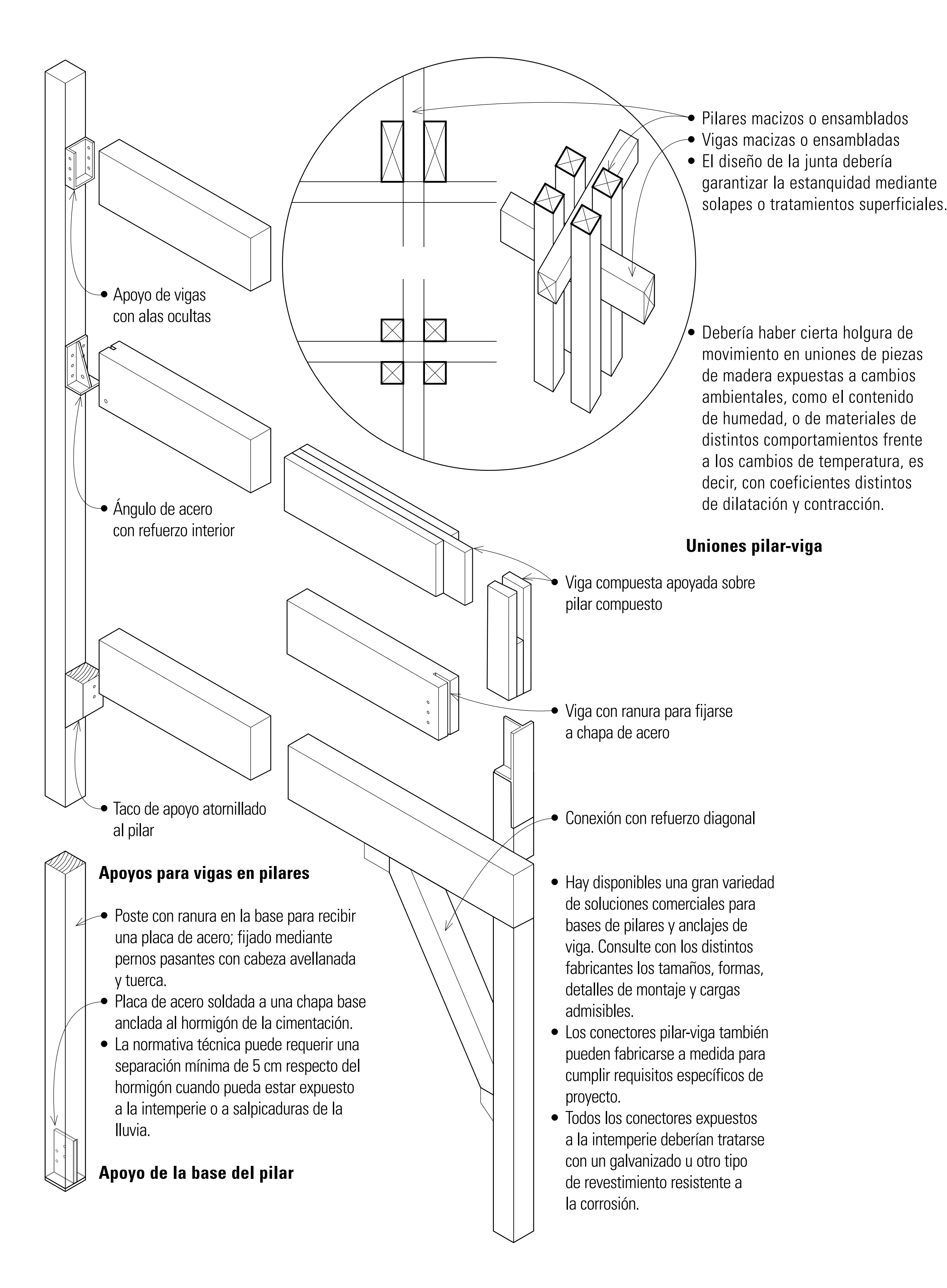
Si no hay suficiente superficie de contacto para alojar el número necesario de pernos, pueden utilizarse conectores para madera, que son anillas, chapas o malla metálicas que se utilizan con un único perno, cuyo cometido es fijar y restringir los movimientos de la conexión. Los conectores para madera resultan más eficientes que los tornillos o pernos aislados porque aumentan la superficie de madera sobre la cual se distribuye la carga y permiten alcanzar tensiones mayores en la superficie de apoyo.

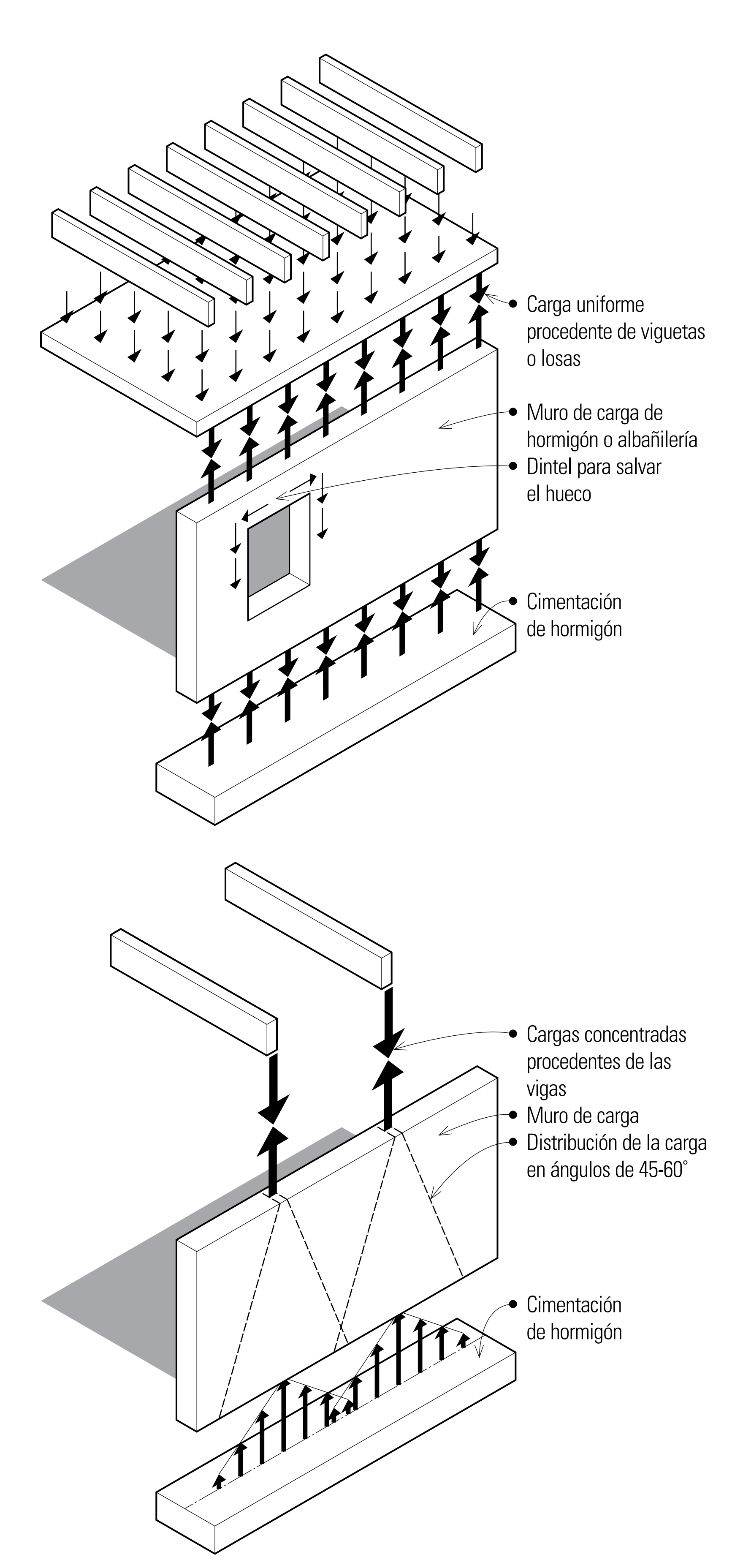


- Los anillos conectores consisten en un anillo de metal, insertado en muescas correspondientes sobre las dos caras en contacto de las piezas a conectar, que se fijan mediante un único perno. El borde machihembrado del anillo permite que se deforme ligeramente bajo carga manteniendo toda la superficie de contacto; por otra parte, la sección biselada facilita la inserción y garantiza una junta bien ceñida una vez que el anillo se introduce completamente en las muescas.

- Disponible en Ø de 6 y 10 cm.
- Anchura mínima de 9 cm para los anillos de Ø 6 cm y de 14 cm para los anillos de Ø 10 cm.
- Perno de Ø 1,2 cm para los anillos de 6 cm, y de 2 cm para los anillos de Ø 10 cm.

- Las placas de cortante consisten en una chapa redonda de hierro maleable, insertada en la muesca correspondiente, enrasada respecto de la cara de la pieza de madera y fijada con un simple perno. Las placas de cortante se utilizan en uniones de piezas contiguas que requieran cierta resistencia a cortante en conexiones madera-madera o conexiones sencillas madera-metal.


• Pilares macizos o ensamblados
• Vigas macizas o ensambladas
• El diseño de la junta debería garantizar la estanquidad mediante solapes o tratamientos superficiales.
• Debería haber cierta holgura de movimiento en uniones de piezas de madera expuestas a cambios ambientales, como el contenido de humedad, o de materiales de distintos comportamientos frente a los cambios de temperatura, es decir, con coeficientes distintos de dilatación y contracción.
Uniones pilar-viga
• Apoyo de vigas con alas ocultas
• Ángulo de acero con refuerzo interior
• Viga compuesta apoyada sobre pilar compuesto
• Viga con ranura para fijarse a chapa de acero
• Taco de apoyo atornillado al pilar
• Conexión con refuerzo diagonal
Apoyos para vigas en pilares
• Poste con ranura en la base para recibir una placa de acero; fijado mediante pernos pasantes con cabeza avellanada y tuerca.
• Placa de acero soldada a una chapa base anclada al hormigón de la cimentación.
• La normativa técnica puede requerir una separación mínima de 5 cm respecto del hormigón cuando pueda estar expuesto a la intemperie o a salpicaduras de la lluvia.
Apoyo de la base del pilar
• Hay disponibles una gran variedad de soluciones comerciales para bases de pilares y anclajes de viga. Consulte con los distintos fabricantes los tamaños, formas, detalles de montaje y cargas admisibles.
• Los conectores pilar-viga también pueden fabricarse a medida para cumplir requisitos específicos de proyecto.
• Todos los conectores expuestos a la intemperie deberían tratarse con un galvanizado u otro tipo de revestimiento resistente a la corrosión.



Muros de carga

Un muro portante o de carga es aquel capaz de soportar una carga impuesta, ya sea de un forjado o de la cubierta, transmitiendo los esfuerzos de compresión hasta las cimentaciones. Los sistemas de muros portantes pueden construirse de albañilería, hormigón in situ o prefabricado, o bien mediante entramados de madera o metal.

Los muros de carga deberían tener continuidad entre las distintas plantas y estar alineados verticalmente desde la cubierta hasta los cimientos; gracias a esta continuidad pueden actuar como arriostramientos y proporcionar resistencia lateral frente a cargas ocasionadas por los terremotos o el viento en la dirección paralela al plano del muro. Sin embargo, debido a su relativa estrechez, los muros son incapaces de ofrecer una resistencia significativa frente a esfuerzos cortantes que actúen en perpendicular a su propio plano.

Además de resistir las cargas gravitatorias, y los fenómenos asociados de aplastamiento y pandeo, los muros portantes exteriores están sometidos a la flexión producida por las cargas horizontales debidas al viento. Estas cargas son transferidas a los planos horizontales de cubierta y forjados, y posteriormente a los elementos de arriostramiento perpendiculares a los muros portantes.

- Las losas de hormigón, así como los forjados y cubiertas sobre viguetas, imponen una carga uniformemente distribuida a lo largo de toda la superficie superior de un muro de carga. Si no hay aberturas que interrumpan el recorrido de las cargas desde la parte superior del muro, la carga uniforme se trasladará a la base del muro.
- Las cargas verticales debe ser redirigidas hacia cualquiera de los laterales de las aberturas en el muro mediante dinteles, en construcciones de entramado, mediante arcos o dinteles en muros de fábrica, o mediante refuerzos específicos en las armaduras de las construcciones de hormigón armado.

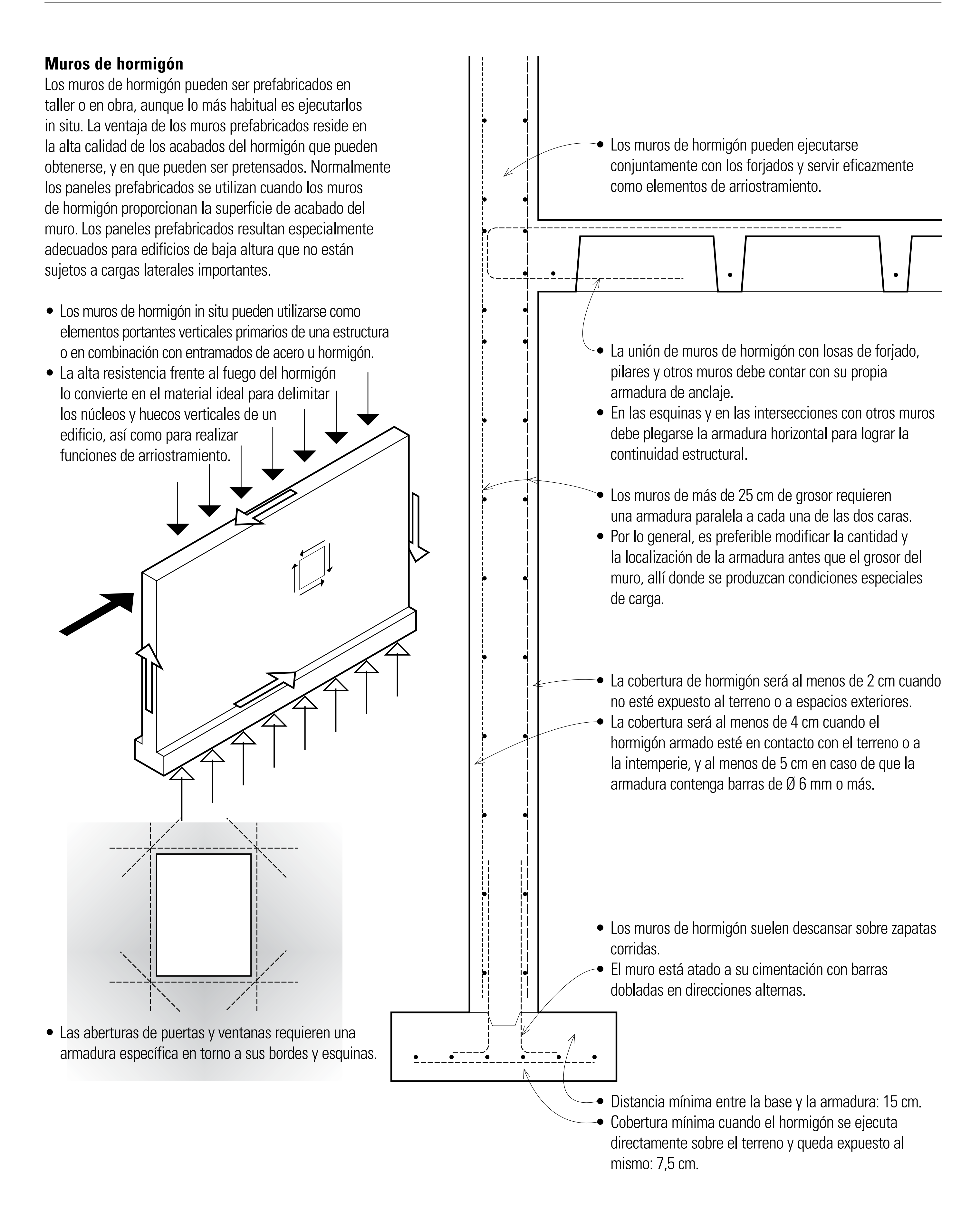
- Las cargas concentradas aplicadas sobre la parte superior de un muro se producen cuando los pilares o vigas que soporta están situadas a cierta distancia. Dependiendo del material del muro, la carga concentrada se distribuirá a lo largo de un ángulo de 45-60º según se descienda por el muro. La carga resultante en la base no será uniforme, concentrándose las mayores cargas directamente en la vertical de la carga aplicada.

- Las distintas normas técnicas especifican la resistencia frente al fuego que deben tener los muros de cerramiento en función de la localización, el tipo de construcción y el grado de ocupación. A menudo los muros que cumplen tales requisitos también resultan apropiados para asumir funciones como muros de carga.

Muros de hormigón

Los muros de hormigón pueden ser prefabricados en taller o en obra, aunque lo más habitual es ejecutarlos in situ. La ventaja de los muros prefabricados reside en la alta calidad de los acabados del hormigón que pueden obtenerse, y en que pueden ser pretensados. Normalmente los paneles prefabricados se utilizan cuando los muros de hormigón proporcionan la superficie de acabado del muro. Los paneles prefabricados resultan especialmente adecuados para edificios de baja altura que no están sujetos a cargas laterales importantes.

- Los muros de hormigón in situ pueden utilizarse como elementos portantes verticales primarios de una estructura o en combinación con entramados de acero u hormigón.
- La alta resistencia frente al fuego del hormigón lo convierte en el material ideal para delimitar los núcleos y huecos verticales de un edificio, así como para realizar funciones de arriostramiento.



- Las aberturas de puertas y ventanas requieren una armadura específica en torno a sus bordes y esquinas.

- Los muros de hormigón pueden ejecutarse conjuntamente con los forjados y servir eficazmente como elementos de arriostramiento.

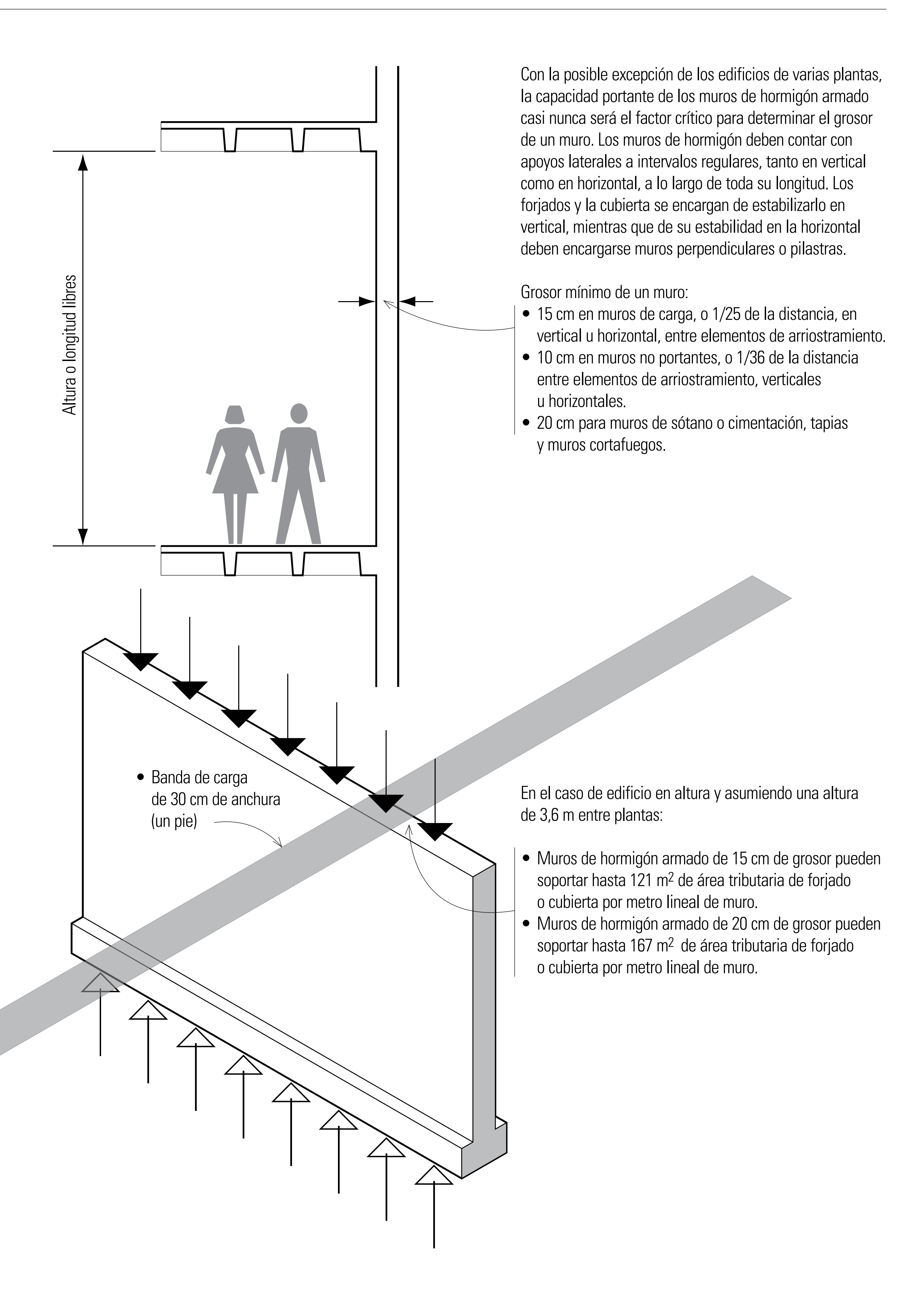
- La unión de muros de hormigón con losas de forjado, pilares y otros muros debe contar con su propia armadura de anclaje.
- En las esquinas y en las intersecciones con otros muros debe plegarse la armadura horizontal para lograr la continuidad estructural.

- Los muros de más de 25 cm de grosor requieren una armadura paralela a cada una de las dos caras.
- Por lo general, es preferible modificar la cantidad y la localización de la armadura antes que el grosor del muro, allí donde se produzcan condiciones especiales de carga.

- La cobertura de hormigón será al menos de 2 cm cuando no esté expuesto al terreno o a espacios exteriores.
- La cobertura será al menos de 4 cm cuando el hormigón armado esté en contacto con el terreno o a la intemperie, y al menos de 5 cm en caso de que la armadura contenga barras de Ø 6 mm o más.

- Los muros de hormigón suelen descansar sobre zapatas corridas.
- El muro está atado a su cimentación con barras dobladas en direcciones alternas.

- Distancia mínima entre la base y la armadura: 15 cm.
- Cobertura mínima cuando el hormigón se ejecuta directamente sobre el terreno y queda expuesto al mismo: 7,5 cm.



Con la posible excepción de los edificios de varias plantas, la capacidad portante de los muros de hormigón armado casi nunca será el factor crítico para determinar el grosor de un muro. Los muros de hormigón deben contar con apoyos laterales a intervalos regulares, tanto en vertical como en horizontal, a lo largo de toda su longitud. Los forjados y la cubierta se encargan de estabilizarlo en vertical, mientras que de su estabilidad en la horizontal deben encargarse muros perpendiculares o pilastras.

Grosor mínimo de un muro:

- 15 cm en muros de carga, o 1/25 de la distancia, en vertical u horizontal, entre elementos de arriostramiento.
- 10 cm en muros no portantes, o 1/36 de la distancia entre elementos de arriostramiento, verticales u horizontales.
- 20 cm para muros de sótano o cimentación, tapias y muros cortafuegos.

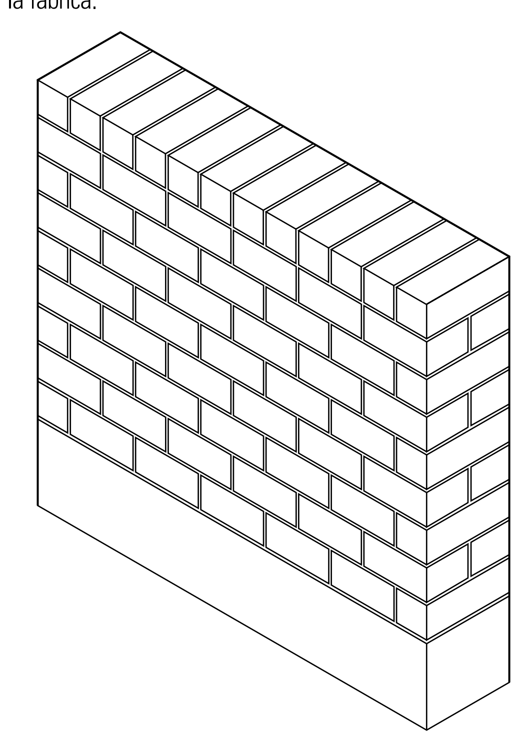
En el caso de edificio en altura y asumiendo una altura de 3,6 m entre plantas:

- Muros de hormigón armado de 15 cm de grosor pueden soportar hasta 121 m^2 de área tributaria de forjado o cubierta por metro lineal de muro.
- Muros de hormigón armado de 20 cm de grosor pueden soportar hasta 167 m^2 de área tributaria de forjado o cubierta por metro lineal de muro.

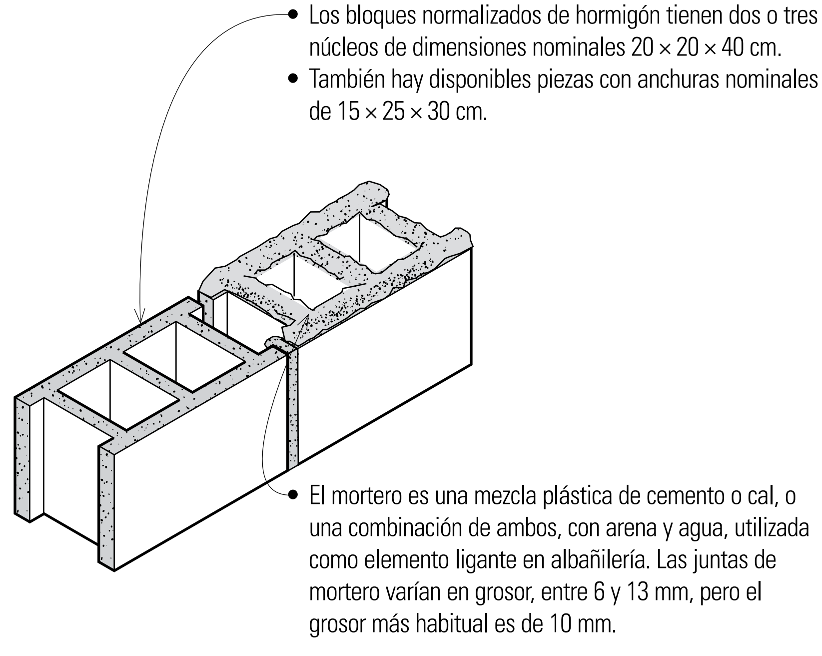
Muros de fábrica

Los muros de fábrica o albañilería están construidos con unidades de diversos productos naturales o manufacturados —piedra, ladrillo o bloques de hormigón— y normalmente un mortero como agente aglomerante. Estos muros se caracterizan por su durabilidad, resistencia frente al fuego y por resultar eficientes frente a esfuerzos de compresión. Los elementos más habituales son los bloques de hormigón, porque son más económicos y fáciles de armar, y han sustituido en gran medida a los ladrillos cerámicos. Por su apariencia, los ladrillos cerámicos se utilizan sobre todo para definir los acabados superficiales, normalmente como revestimiento de entramados ligeros o muros de bloques de hormigón.

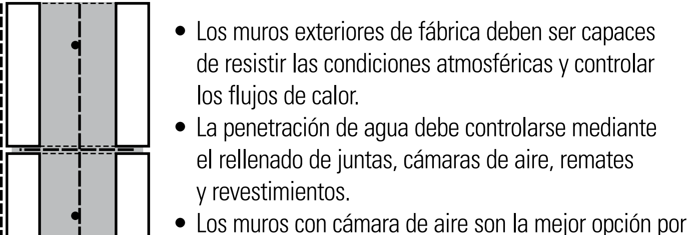
Los muros portantes de fábrica pueden construirse como muros macizos, compuestos con cámara de aire o revestidos. Aunque pueden construirse sin necesidad de recurrir a armado, en zonas sísmicas los muros de carga de obra de fábrica deberían contar siempre con armaduras de acero alojadas en juntas regruesadas o en las perforaciones de los bloques, con un mortero líquido de cemento, árido y agua para mejorar su capacidad portante frente a cargas verticales y para proporcionar mayor resistencia frente al pandeo y las cargas laterales. Es esencial obtener una buena adherencia entre la armadura de acero, el mortero y las unidades de la fábrica.



- Los bloques normalizados de hormigón tienen dos o tres núcleos de dimensiones nominales 20 × 20 × 40 cm.
- También hay disponibles piezas con anchuras nominales de 15 × 25 × 30 cm.



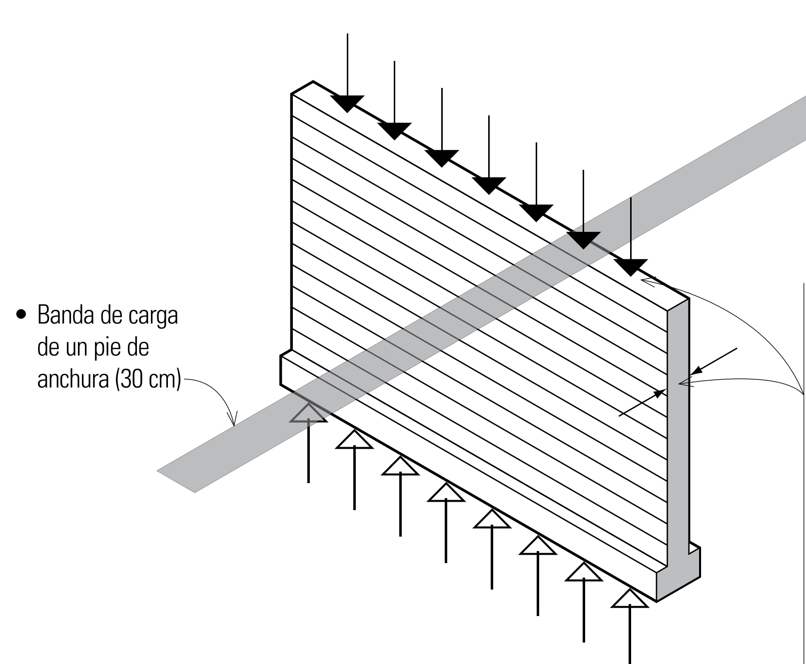
- El mortero es una mezcla plástica de cemento o cal, o una combinación de ambos, con arena y agua, utilizada como elemento ligante en albañilería. Las juntas de mortero varían en grosor, entre 6 y 13 mm, pero el grosor más habitual es de 10 mm.



- Los muros exteriores de fábrica deben ser capaces de resistir las condiciones atmosféricas y controlar los flujos de calor.
- La penetración de agua debe controlarse mediante el rellenado de juntas, cámaras de aire, remates y revestimientos.
- Los muros con cámara de aire son la mejor opción por su mayor estanquidad y mejor comportamiento térmico.
- 20 cm es el grosor nominal mínimo para muros de fábrica con función portante o de arriostramiento y para antepechos de fábrica.
- 15 cm es el grosor nominal mínimo para muros portantes de fábrica armada; los muros de fábrica que sirvan para proporcionar resistencia frente a cargas laterales no superarán nunca una altura de 10 m.

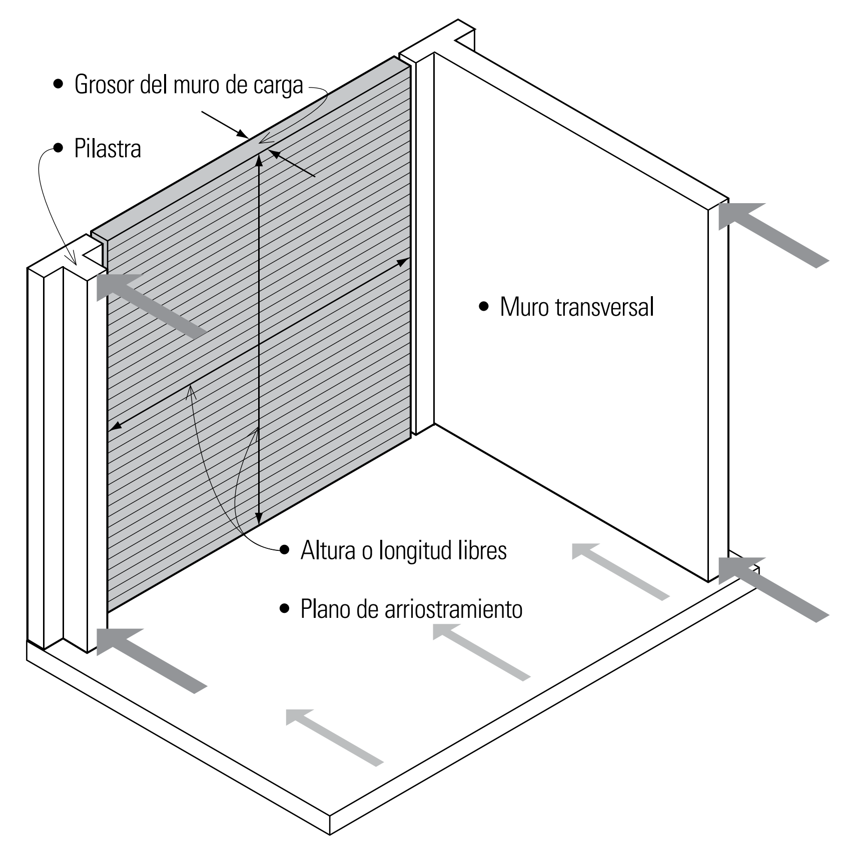


- Dimensiones modulares
- Los muros de fábrica pueden llevar todas las juntas y cavidades interiores rellenas de mortero, lo cual se realiza según se va ejecutando el muro. El mortero utilizado para consolidar los materiales adyacentes en una masa sólida suele ser un mortero de cemento pórtland lo bastante fluido como para distribuirse por las juntas sin que lleguen a disociarse sus componentes.
- Refuerzo de junta horizontal
- Armadura de acero
- La armadura se prolonga hasta la cimentación de hormigón armado.



- Los muros portantes de fábrica por lo general se disponen en paralelo para soportar forjados de acero, madera u hormigón.
- Los elementos más comúnmente utilizados en estos forjados son viguetas de acero de alma abierta, y losas de hormigón, prefabricadas o ejecutadas in situ.

- Un muro de bloques de hormigón de 20 cm de grosor puede soportar hasta 75 m^2 de área tributaria de forjado o cubierta por metro lineal de muro.
- Un muro de bloques de hormigón de 25 cm de grosor puede soportar hasta 105 m^2 de área tributaria de forjado o cubierta por metro lineal de muro.
- Un muro de bloques de hormigón de 30 cm de grosor puede soportar hasta 131 m^2 de área tributaria de forjado o cubierta por metro lineal de muro.
- Un muro de bloques de hormigón de 40 cm de grosor puede soportar hasta 196 m^2 de área tributaria de forjado o cubierta por metro lineal de muro.



- Los muros portantes de fábrica debe tener apoyos laterales tanto en la dirección vertical como en la horizontal.
- Los apoyos laterales pueden consistir en muros transversales, pilastras o un entramado estructural en la dirección horizontal, y los forjados y la cubierta en la dirección vertical.
- Las pilastras no solo rigidizan los muros de fábrica frente al pandeo y las cargas laterales, sino que también proporcionan soporte para las cargas concentradas más importantes.

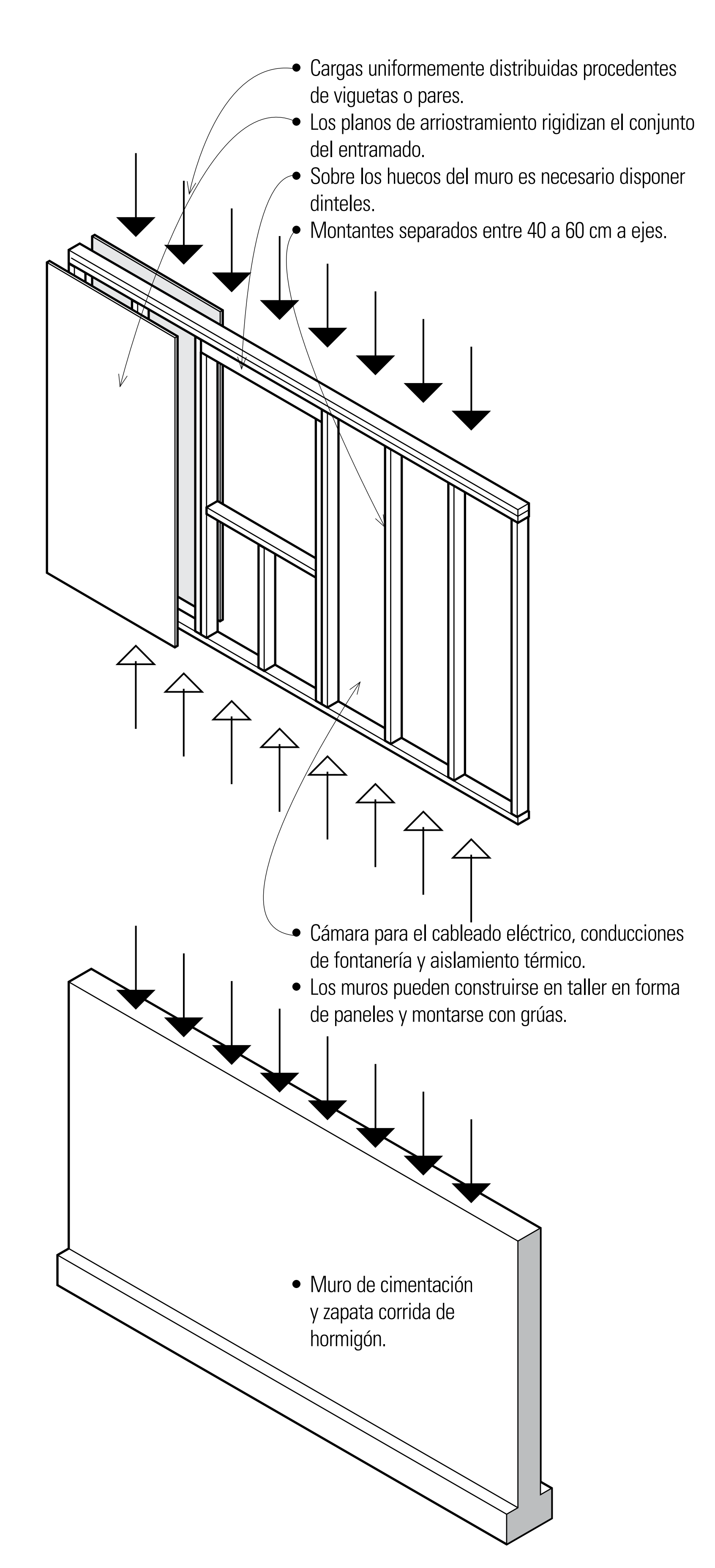
- Un muro portante de carga totalmente relleno de mortero puede tener una altura libre de hasta 20 veces su grosor. El resto de los muros de fábrica pueden tener una altura o longitud libres de hasta 18 veces su grosor.
- Los movimientos diferenciales en los muros de fábrica debidos a cambios en la temperatura o el contenido de humedad, o a concentraciones de las tensiones, requieren la utilización de juntas de dilatación.

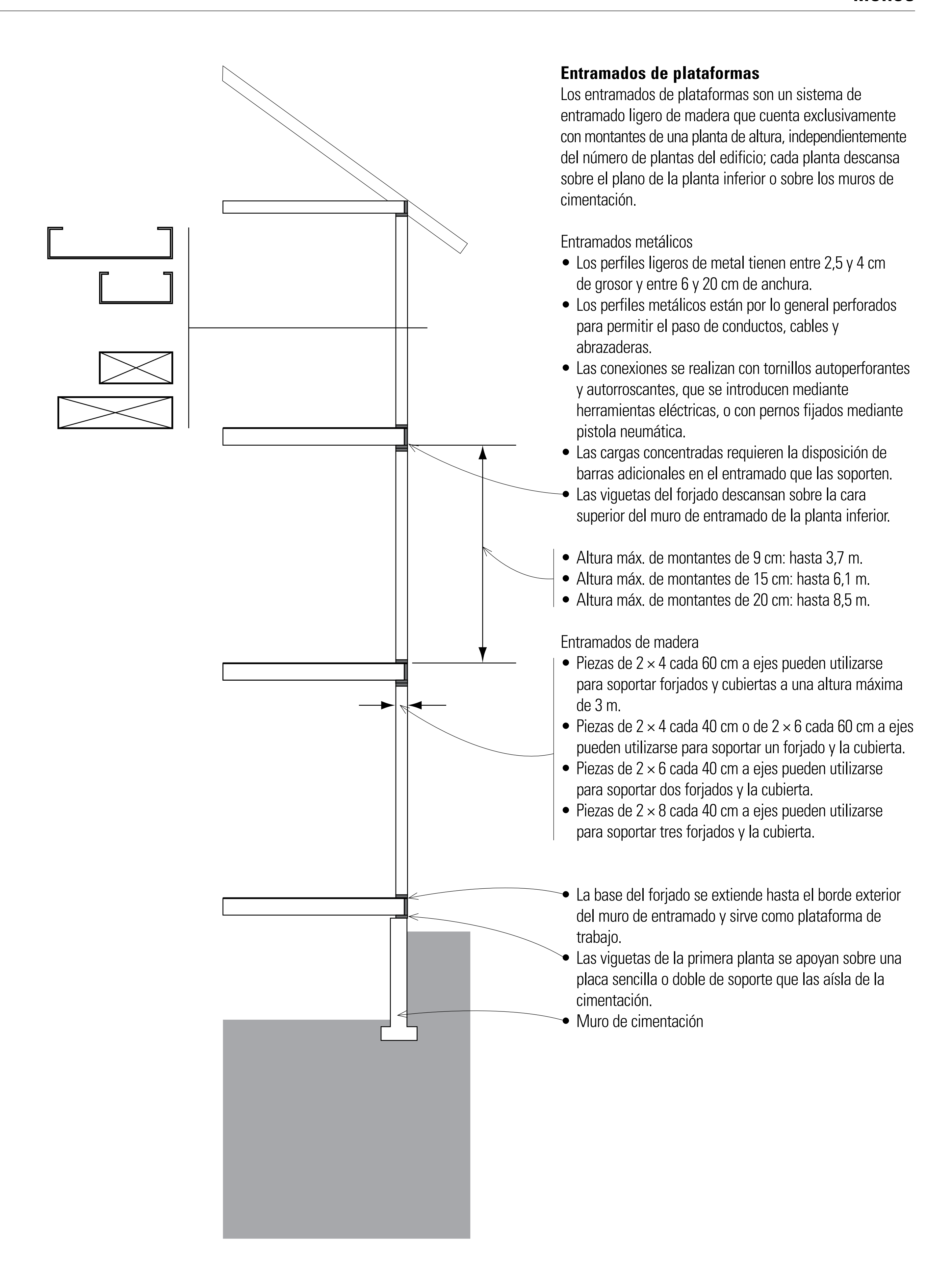
Muros de entramados

Los muros de entramados ligeros se construyen con perfiles ligeros de acero o con listones de madera, situados normalmente a distancias de 30, 40 o 60 cm a ejes, dependiendo de la altura del muro y del tamaño y la capacidad a flexión de los materiales de revestimiento utilizados. La construcción de entramados ligeros se utiliza por lo general para muros portantes de estructuras de baja altura, de tal forma que se aprovechan las ventajas de los componentes ligeros y la facilidad de montaje. El sistema resulta especialmente adecuado para edificios con formas o distribuciones irregulares.

Los perfiles ligeros de acero se fabrican mediante conformación en frío de chapas y pletinas de acero. Los perfiles conformados en frío pueden cortarse con facilidad y se montan con herramientas sencillas para formar una estructura ligera, incombustible y resistente a la humedad. Los muros de entramado metálico se utilizan como tabiques o soportes de viguetas ligeras de acero. A diferencia de los entramados ligeros de madera, los metálicos pueden emplearse para producir particiones resistentes al fuego. Sin embargo, la tasa de resistencia al fuego de los entramados ligeros, tanto de metal como de madera, depende por completo de la resistencia de los materiales superficiales.

Los muros de entramado, tanto de metal como de madera, pueden considerarse como monolíticos cuando reciben una carga distribuida en su parte superior. Los montantes y travesaños transmiten los esfuerzos verticales y horizontales de flexión, mientras que los planos de arriostramiento rigidizan el conjunto del muro y distribuyen los esfuerzos, verticales y horizontales entre las barras individuales. Cualquier abertura en el entramado del muro requiere dinteles que redirijan las cargas hacia ambos lados del hueco. Las cargas concentradas resultantes de las reacciones del dintel deben ser soportadas por una combinación de montantes que hagan las veces de pilares.





Entramados de plataformas

Los entramados de plataformas son un sistema de entramado ligero de madera que cuenta exclusivamente con montantes de una planta de altura, independientemente del número de plantas del edificio; cada planta descansa sobre el plano de la planta inferior o sobre los muros de cimentación.

Entramados metálicos

- Los perfiles ligeros de metal tienen entre 2,5 y 4 cm de grosor y entre 6 y 20 cm de anchura.
- Los perfiles metálicos están por lo general perforados para permitir el paso de conductos, cables y abrazaderas.
- Las conexiones se realizan con tornillos autoperforantes y autorroscantes, que se introducen mediante herramientas eléctricas, o con pernos fijados mediante pistola neumática.
- Las cargas concentradas requieren la disposición de barras adicionales en el entramado que las soporten.
- Las viguetas del forjado descansan sobre la cara superior del muro de entramado de la planta inferior.

- Altura máx. de montantes de 9 cm: hasta 3,7 m.
- Altura máx. de montantes de 15 cm: hasta 6,1 m.
- Altura máx. de montantes de 20 cm: hasta 8,5 m.

Entramados de madera

- Piezas de 2 × 4 cada 60 cm a ejes pueden utilizarse para soportar forjados y cubiertas a una altura máxima de 3 m.
- Piezas de 2 × 4 cada 40 cm o de 2 × 6 cada 60 cm a ejes pueden utilizarse para soportar un forjado y la cubierta.
- Piezas de 2 × 6 cada 40 cm a ejes pueden utilizarse para soportar dos forjados y la cubierta.
- Piezas de 2 × 8 cada 40 cm a ejes pueden utilizarse para soportar tres forjados y la cubierta.

- La base del forjado se extiende hasta el borde exterior del muro de entramado y sirve como plataforma de trabajo.
- Las viguetas de la primera planta se apoyan sobre una placa sencilla o doble de soporte que las aísla de la cimentación.
- Muro de cimentación

Muros cortina

Los muros cortina son muros exteriores de un edificio que se apoyan en un entramado estructural o bastidor de acero u hormigón, y que no transfieren más cargas que la de su propio peso y las laterales. Un muro cortina no puede contribuir a la estabilidad de la estructura.

Un muro cortina puede consistir en un bastidor metálico que sostenga hojas de vidrio transparente u opaco, o bien en paneles de revestimiento de diversos materiales (hormigón prefabricado, piedra natural o metal). Las unidades que conforman el cerramiento pueden tener una altura de una a tres plantas, y pueden venir con los vidrios incorporados o bien incorporarlos en una fase posterior del montaje. Los sistemas de paneles ofrecen uniones realizadas en condiciones de fábrica y la posibilidad de un montaje rápido, pero su gran volumen dificulta el transporte y el manejo.

Aunque simples en teoría, en realidad la construcción de muros cortina es compleja y requiere un trabajo meticuloso en las fases de desarrollo, ensayo y ejecución. También se requiere una coordinación estrecha entre el arquitecto, el ingeniero de estructuras y un fabricante experimentado.

- Entramado de acero estructural u hormigón armado
- Anclaje
- Sistema de muro cortina acristalado o paneles de hormigón prefabricado, piedra natural, albañilería o metal.

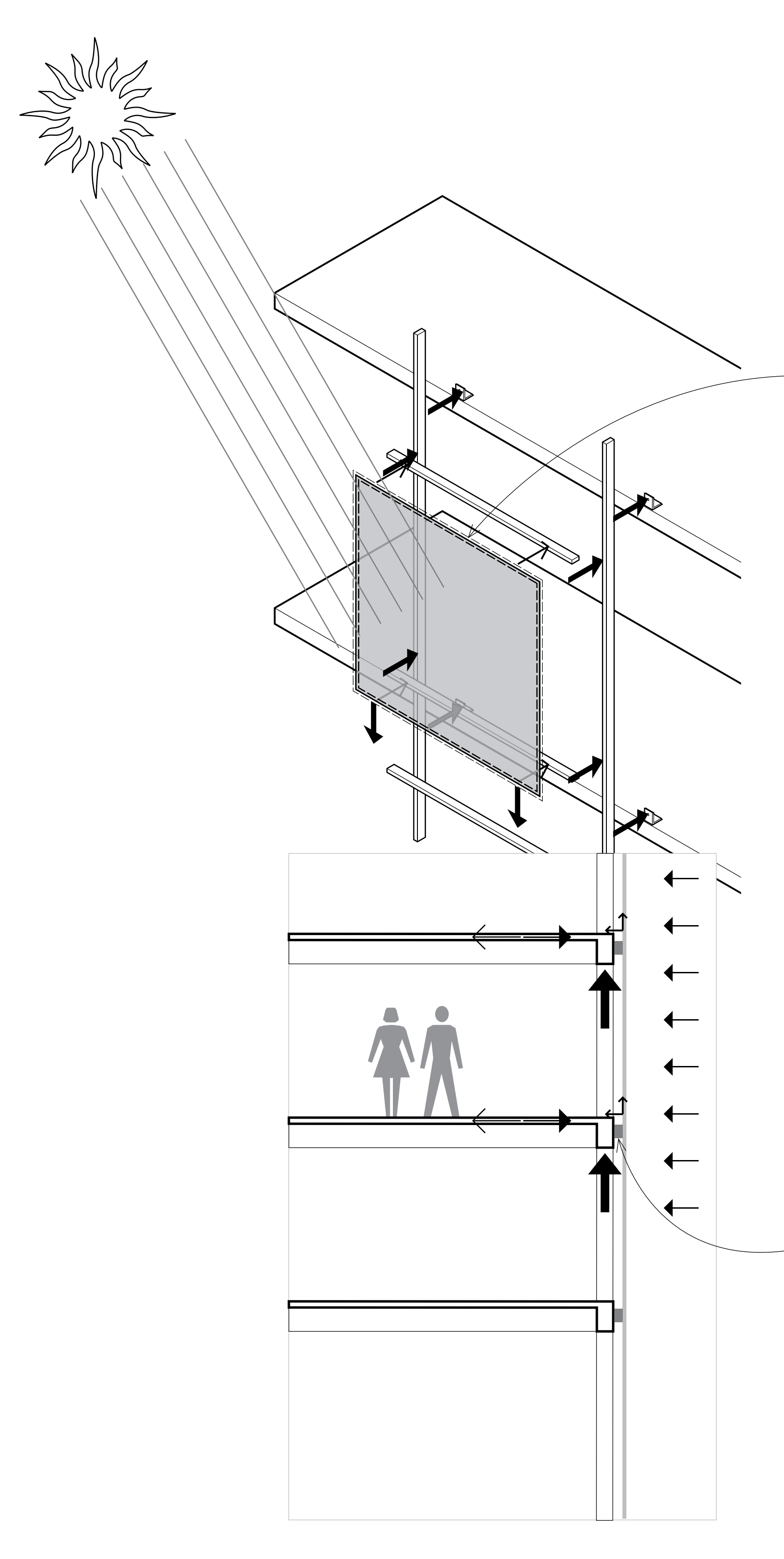
Como con otros muros exteriores, un muro cortina debe ser capaz de soportar los esfuerzos asociados a:

Cargas

- Los muros cortina deben ser capaces de soportar su propio peso, además de las cargas laterales producidas por el viento.
- El bastidor estructural debe proporcionar un soporte adecuado a los paneles de muro cortina.
- No debe transmitirse al muro cortina ninguna flecha o deformación del bastidor estructural bajo carga.
- El diseño antisísmico requiere la utilización de uniones que absorban las vibraciones.

Viento

- El viento puede ejercer una presión positiva o negativa (succión) sobre la superficie de un muro, dependiendo de la dirección en la cual sople y la forma y la altura del propio edificio.
- El muro debe ser capaz de transferir cualquier carga de viento al entramado estructural del edificio sin llegar a sufrir deformaciones excesivas. Los movimientos que pueda generar el viento en el muro deben estar previstos en el diseño de sus juntas y conexiones.



Sol

- El brillo y los reflejos deberían estar controlados mediante el empleo de parasoles, vidrios tintados o reflectores.
- Los rayos ultravioletas también pueden ocasionar el deterioro de ciertos materiales de las juntas y los paneles, además de pérdida de color de los acabados interiores.

Temperatura

- Las variaciones diarias y estacionales de la temperatura provocan dilataciones y contracciones de los materiales que componen las juntas del muro, especialmente de los metales. Debe disponerse cierta holgura para permitir los movimientos diferenciales ocasionados por la dilatación o contracción diferenciales de los diversos materiales.
- Las juntas y sellantes deben ser capaces de soportar los movimientos causados por los cambios de temperatura.
- El flujo de calor a través de los muros cortina acristalados debería controlarse mediante el empleo de vidrios dobles, paneles opacos de aislamiento, así como por la incorporación de carpinterías con rotura de puente térmico.

Agua

- La lluvia puede acumularse sobre la superficie del muro y ser empujada por el viento hasta las rendijas más minúsculas.
- El vapor de agua que puede condensarse y acumularse dentro del muro debe poder ser evacuado hacia el exterior.
- Los principios de diseño que permitan igualar las presiones en ambas caras del muro cortina resultan fundamentales para evitar que el diferencial de presión entre los ambientes interior y exterior provoque la entrada de agua de lluvia a través incluso de la más minúscula de las rendijas en las juntas del muro.

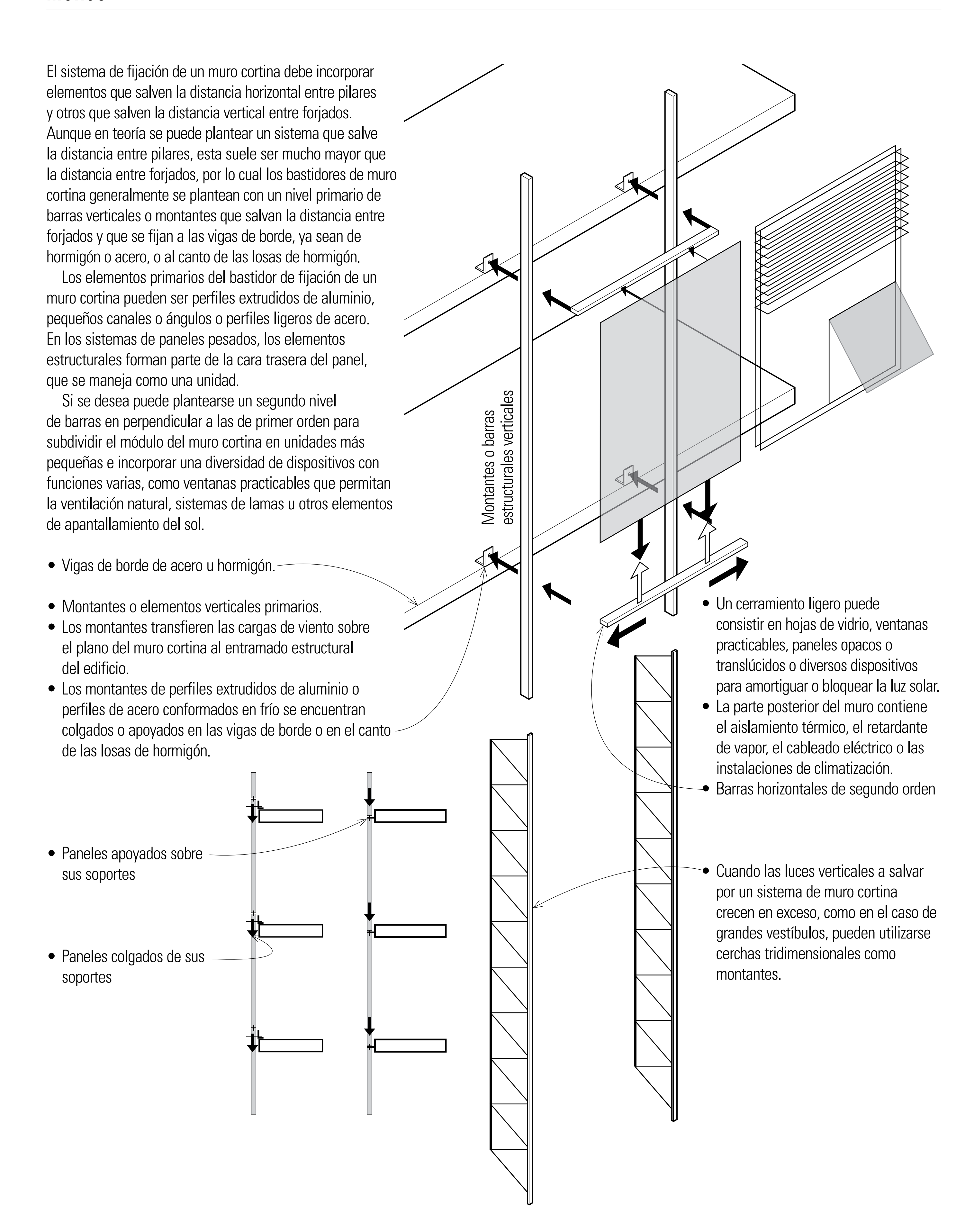
Fuego

- Debe disponerse una barrera contra el fuego, de un material incombustible, que evite la difusión del fuego tanto en vertical como en horizontal, a través de las uniones del muro con los forjados o a lo largo de las juntas entre paneles.
- La normativa técnica también especifica los requisitos de resistencia frente al fuego que deben cumplir tanto el bastidor estructural como los propios paneles del muro.

El sistema de fijación de un muro cortina debe incorporar elementos que salven la distancia horizontal entre pilares y otros que salven la distancia vertical entre forjados. Aunque en teoría se puede plantear un sistema que salve la distancia entre pilares, esta suele ser mucho mayor que la distancia entre forjados, por lo cual los bastidores de muro cortina generalmente se plantean con un nivel primario de barras verticales o montantes que salvan la distancia entre forjados y que se fijan a las vigas de borde, ya sean de hormigón o acero, o al canto de las losas de hormigón.

Los elementos primarios del bastidor de fijación de un muro cortina pueden ser perfiles extrudidos de aluminio, pequeños canales o ángulos o perfiles ligeros de acero. En los sistemas de paneles pesados, los elementos estructurales forman parte de la cara trasera del panel, que se maneja como una unidad.

Si se desea puede plantearse un segundo nivel de barras en perpendicular a las de primer orden para subdividir el módulo del muro cortina en unidades más pequeñas e incorporar una diversidad de dispositivos con funciones varias, como ventanas practicables que permitan la ventilación natural, sistemas de lamas u otros elementos de apantallamiento del sol.



- Vigas de borde de acero u hormigón.

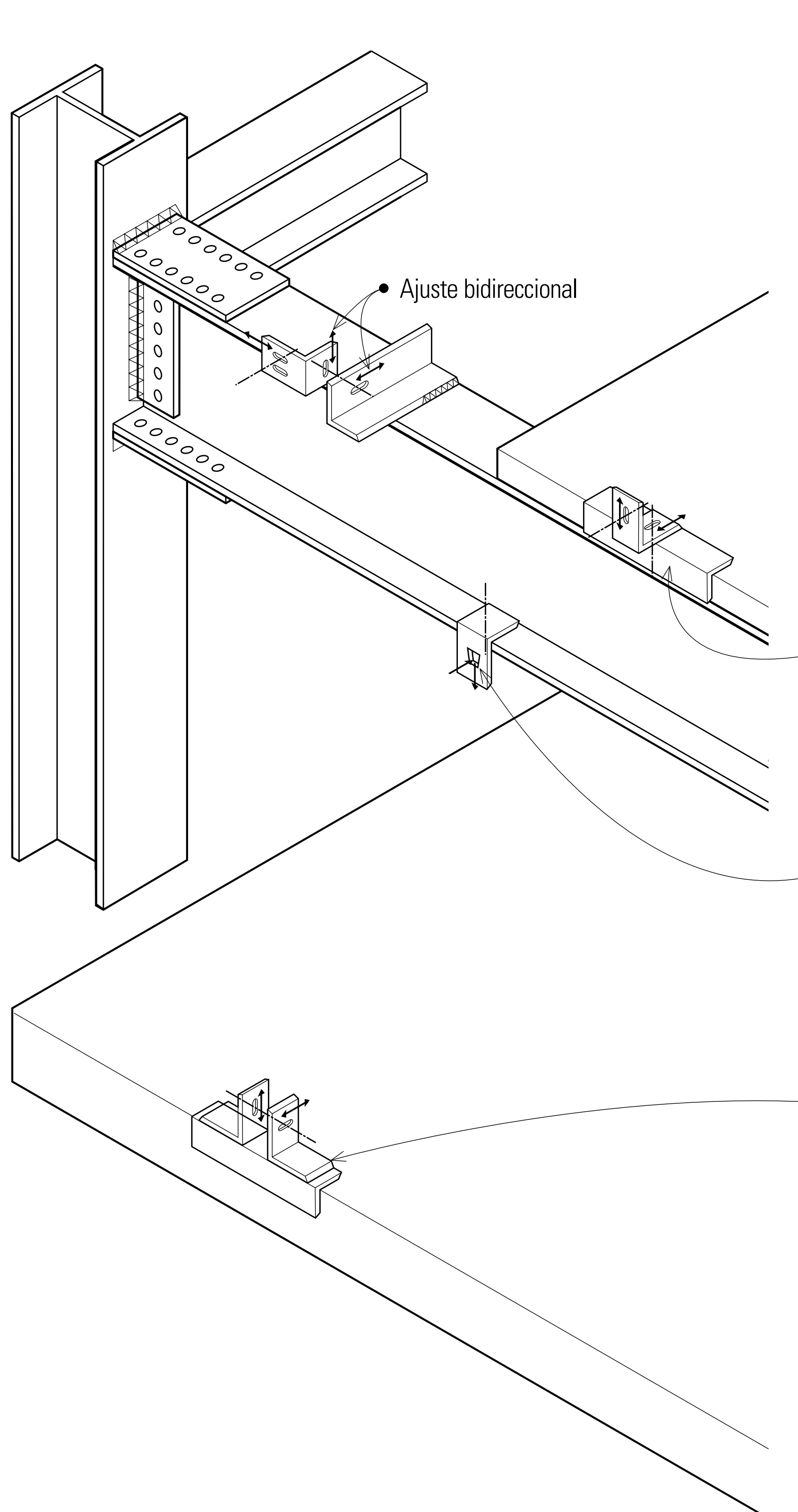
- Montantes o elementos verticales primarios.
- Los montantes transfieren las cargas de viento sobre el plano del muro cortina al entramado estructural del edificio.
- Los montantes de perfiles extrudidos de aluminio o perfiles de acero conformados en frío se encuentran colgados o apoyados en las vigas de borde o en el canto de las losas de hormigón.

- Un cerramiento ligero puede consistir en hojas de vidrio, ventanas practicables, paneles opacos o translúcidos o diversos dispositivos para amortiguar o bloquear la luz solar.
- La parte posterior del muro contiene el aislamiento térmico, el retardante de vapor, el cableado eléctrico o las instalaciones de climatización.
- Barras horizontales de segundo orden

- Paneles apoyados sobre sus soportes

- Paneles colgados de sus soportes

- Cuando las luces verticales a salvar por un sistema de muro cortina crecen en exceso, como en el caso de grandes vestíbulos, pueden utilizarse cerchas tridimensionales como montantes.



Existe una gran variedad de dispositivos metálicos para fijar un muro cortina al bastidor estructural de un edificio. Algunas conexiones se diseñan para poder resistir esfuerzos aplicados en cualquier dirección, mientras que otras solo resisten las cargas laterales de viento. Estas juntas suelen permitir el ajuste en tres direcciones para poder asumir los desajustes dimensionales entre las unidades del muro cortina y el entramado estructural, proporcionando además holgura para los movimientos diferenciales cuando la estructura se deforme bajo carga o el muro cortina reaccione al estrés térmico o los cambios de temperatura.

Las pletinas y ángulos de apoyo perforadas permiten hacer ajustes en una dirección; la combinación de varios ángulos o chapas permite realizar ajustes en las tres dimensiones. Una vez que se ha completado el montaje, para restringir cualquier movimiento en la conexión, las conexiones pueden asegurarse de forma permanente mediante una soldadura.

Estructuras de acero

- Por motivos de accesibilidad, son preferibles los anclajes superiores.
- Ángulo de conexión apoyado y soldado o atornillado al ala de una viga de borde o a otro ángulo de acero fijado al borde de una losa de hormigón.

- Una ranura en cuña recibe una tuerca de la misma forma permitiendo tanto un ajuste vertical como una conexión efectiva.

Estructuras de hormigón armado

- Ángulo fijado al borde de una losa de hormigón.

- Las conexiones deben ser capaces de acomodar los desajustes dimensionales entre la obra gruesa de la estructura de hormigón y la precisión del sistema de fijación del muro cortina.

Relación del muro cortina con la estructura

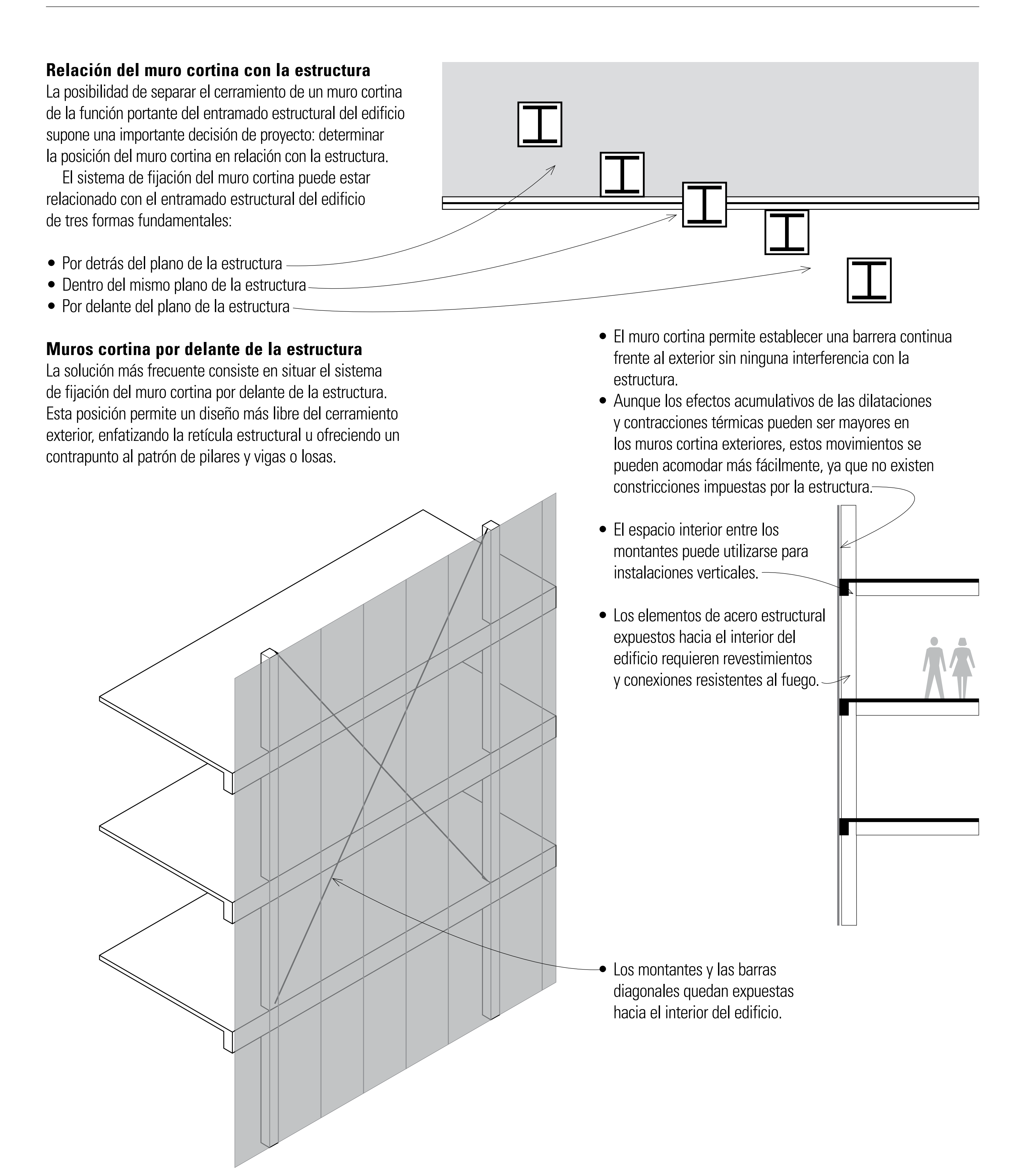
La posibilidad de separar el cerramiento de un muro cortina de la función portante del entramado estructural del edificio supone una importante decisión de proyecto: determinar la posición del muro cortina en relación con la estructura.

El sistema de fijación del muro cortina puede estar relacionado con el entramado estructural del edificio de tres formas fundamentales:

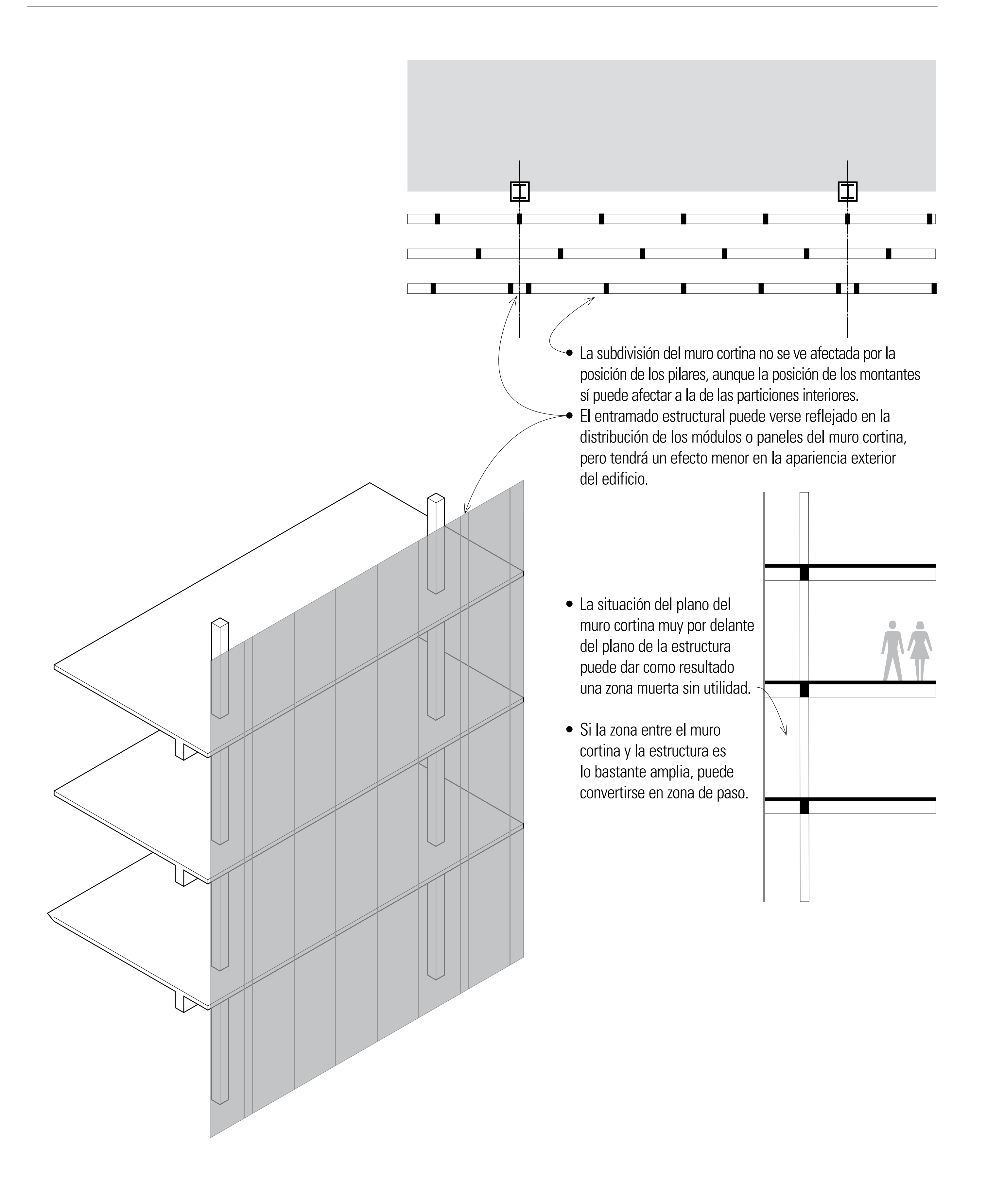
- Por detrás del plano de la estructura
- Dentro del mismo plano de la estructura
- Por delante del plano de la estructura

Muros cortina por delante de la estructura

La solución más frecuente consiste en situar el sistema de fijación del muro cortina por delante de la estructura. Esta posición permite un diseño más libre del cerramiento exterior, enfatizando la retícula estructural u ofreciendo un contrapunto al patrón de pilares y vigas o losas.

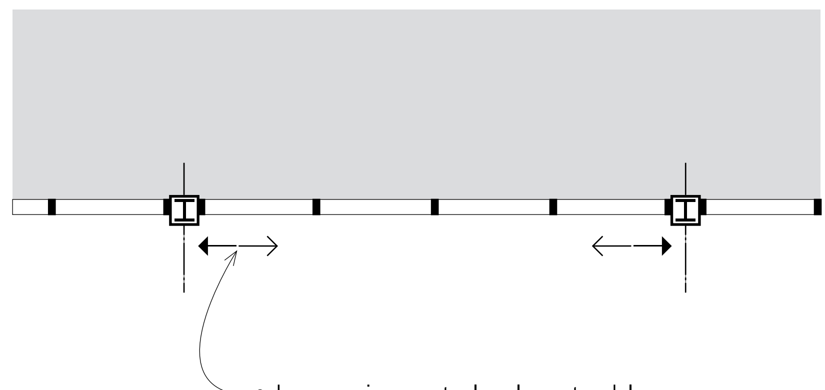


- El muro cortina permite establecer una barrera continua frente al exterior sin ninguna interferencia con la estructura.
- Aunque los efectos acumulativos de las dilataciones y contracciones térmicas pueden ser mayores en los muros cortina exteriores, estos movimientos se pueden acomodar más fácilmente, ya que no existen constricciones impuestas por la estructura.
- El espacio interior entre los montantes puede utilizarse para instalaciones verticales.
- Los elementos de acero estructural expuestos hacia el interior del edificio requieren revestimientos y conexiones resistentes al fuego.
- Los montantes y las barras diagonales quedan expuestas hacia el interior del edificio.

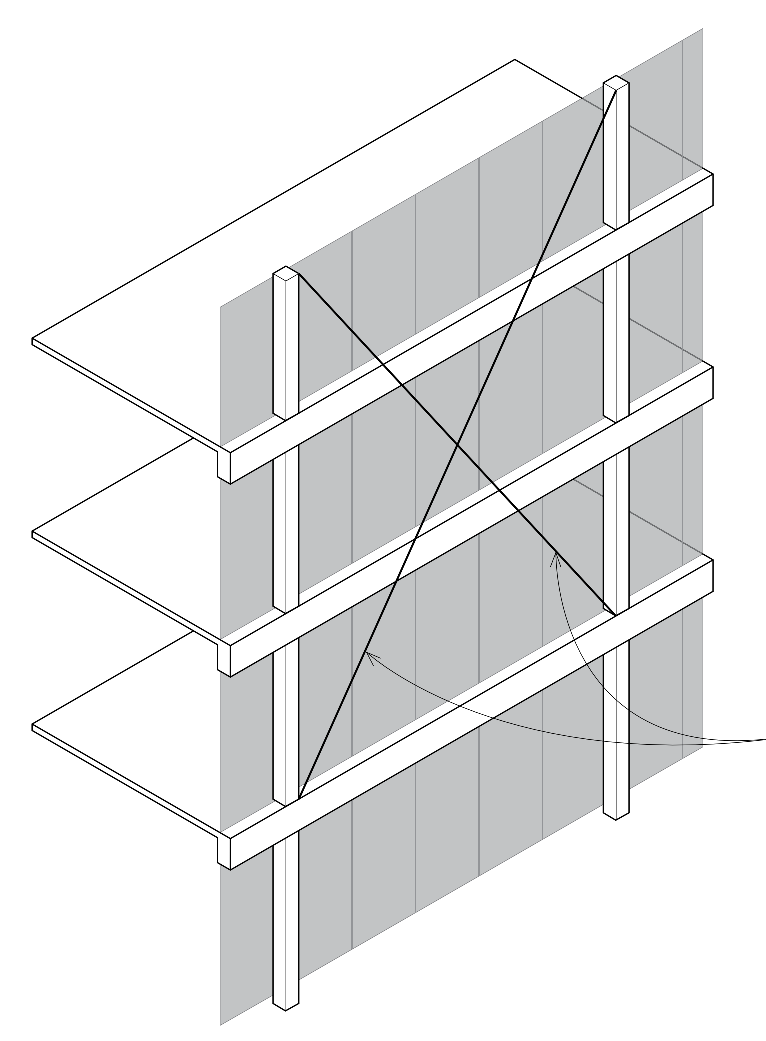

• La subdivisión del muro cortina no se ve afectada por la posición de los pilares, aunque la posición de los montantes sí puede afectar a la de las particiones interiores.
• El entramado estructural puede verse reflejado en la distribución de los módulos o paneles del muro cortina, pero tendrá un efecto menor en la apariencia exterior del edificio.
• La situación del plano del muro cortina muy por delante del plano de la estructura puede dar como resultado una zona muerta sin utilidad.
• Si la zona entre el muro cortina y la estructura es lo bastante amplia, puede convertirse en zona de paso.

Muros cortina en el plano de la estructura
La colocación de los bastidores o los paneles del muro cortina dentro del mismo plano de la estructura implica que la escala, las proporciones y el peso visual del entramado de vigas y pilares quedará expresado en la fachada del edificio.

- Las caras expuestas de los pilares y las vigas o losas pueden requerir un revestimiento frente a la intemperie que incorpore aislamiento térmico.



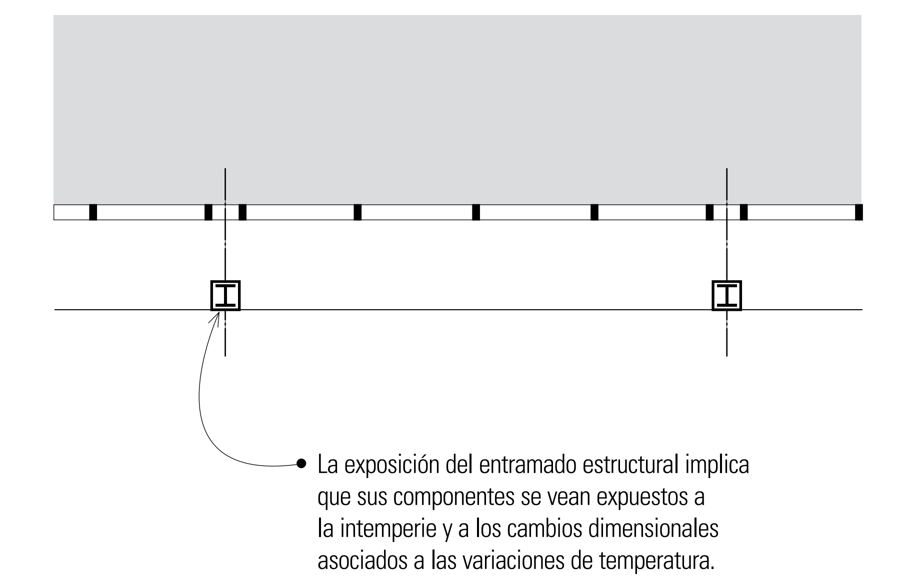
- Las conexiones entre los elementos del muro cortina y la estructura debe permitir los movimientos diferenciales debidos al comportamiento distinto de los materiales frente a los cambios de temperatura.
- Ninguna flecha o deformación de la estructura bajo carga puede transmitirse a los bastidores del muro cortina.



- Debería evitarse que los muros cortina estén situados en el mismo plano de la estructura cuando esta contenga barras diagonales, a menos que la profundidad de la propia estructura permita que las diagonales se sitúen en un plano distinto al del muro cortina. Disponer de elementos diagonales en el mismo plano puede complicar la construcción, pues requiere la fabricación de piezas y conexiones especiales.

Muros cortina por detrás del plano de la estructura

Cuando se sitúa el muro cortina por detrás del plano del entramado estructural, su diseño se convierte en la característica más expresivas de la fachada exterior.



- La exposición del entramado estructural implica que sus componentes se vean expuestos a la intemperie y a los cambios dimensionales asociados a las variaciones de temperatura.

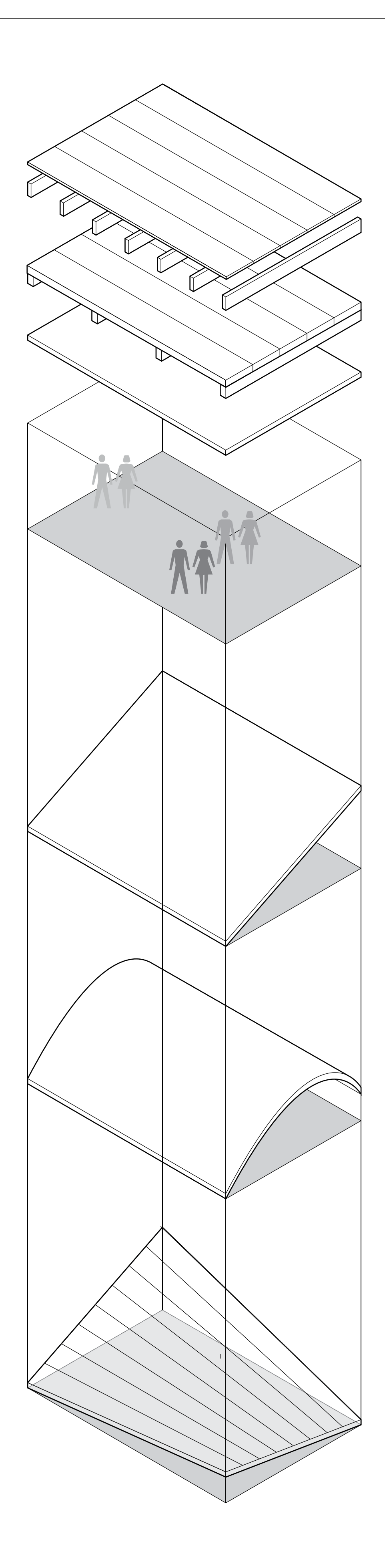
- Diversos elementos arquitectónicos como parasoles o balcones se pueden alojar y apoyar en la estructura.
- En aquellos puntos en los cuales las vigas o losas del forjado atraviesan el cerramiento, es necesario controlar el flujo de calor eliminando los posibles puentes térmicos.
- Si es lo bastante amplio, el espacio entre el plano de la estructura y el muro cortina puede emplearse como zona de paso interior o exterior.
- Las barras diagonales de la estructura no tienen ningún impacto sobre el uso del espacio interior situado por delante del muro cortina.

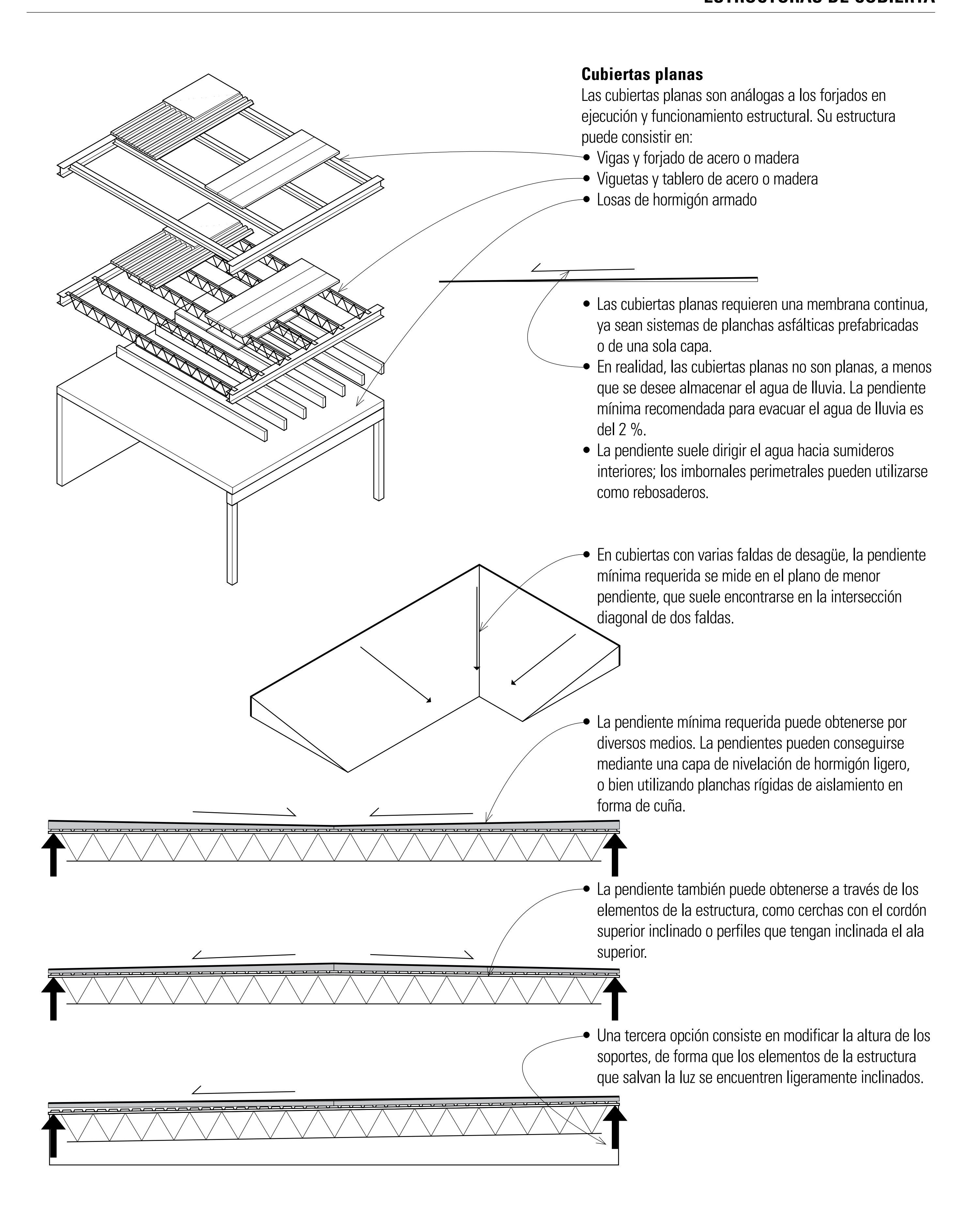
Al igual que los forjados, las estructuras de cubierta son sistemas portantes horizontales. Sin embargo, mientras que los forjados proporcionan superficies planas y niveladas para el soporte del mobiliario y las diversas actividades, las cubiertas tienen un aspecto vertical que puede ejercer un impacto dramático en la forma exterior de un edificio, así como en la calidad de los volúmenes espaciales que se sitúen por debajo de él. Una cubierta puede ser plana o inclinada, a dos o a cuatro aguas, amplia y acogedora, o rítmicamente articulada. Puede quedar a la vista, enrasada con la fachada o volando sobre ella, o bien quedar oculta detrás de un peto. Si su cara inferior queda a la vista, la cubierta también puede transmitir su forma a los límites superiores de los espacios que se encuentren bajo ella.

Debido a que la cubierta constituye el elemento primario de protección para los espacios interiores de un edificio, su forma y su pendiente deben ser compatibles con el tipo de cubrición —tejas, placas o membranas continuas— utilizado para evacuar la lluvia y la nieve derretida hacia un sistema de sumideros, canalones y bajantes de desagüe. El sistema constructivo de una cubierta debería también controlar el paso de vapor de agua, la entrada de aire y los flujos de calor y radiación solar. Dependiendo del tipo de construcción exigido por la normativa, la estructura de la cubierta puede tener que cumplir unos requisitos respecto a la propagación del fuego.

Al igual que los forjados, una cubierta debe ser capaz de salvar una determinada luz y soportar tanto su peso propio como el de cualquier instalación alojada en ella, así como el peso de la lluvia y la nieve que se puedan acumular. Las cubiertas planas que sirven de azoteas también están sujetas a las sobrecargas de uso. Además de todas estas cargas gravitatorias, los planos de una cubierta pueden necesitar hacer frente a las cargas laterales del viento o de los terremotos, sin olvidar los esfuerzos debidos a la succión por el viento, y debe transmitir todas estas cargas a la estructura en la cual se apoya.

Puesto que las cargas gravitatorias de un edificio se originan con el sistema de cubierta, su disposición estructural debe corresponderse con la del sistema de pilares y muros de carga a través del cual dichas cargas se transfieren hasta el sistema de cimentación. A su vez, el patrón de soportes de la estructura y la escala de las luces que esta salve influyen en la distribución de los espacios interiores y en el tipo de techos que puede soportar la cubierta. Las cubiertas que cubren grandes luces permiten una mayor flexibilidad en la distribución de los espacios interiores, mientras que las de luces menores invitan a definir los espacios con mayor precisión.





Cubiertas planas

Las cubiertas planas son análogas a los forjados en ejecución y funcionamiento estructural. Su estructura puede consistir en:

- Vigas y forjado de acero o madera
- Viguetas y tablero de acero o madera
- Losas de hormigón armado

- Las cubiertas planas requieren una membrana continua, ya sean sistemas de planchas asfálticas prefabricadas o de una sola capa.
- En realidad, las cubiertas planas no son planas, a menos que se desee almacenar el agua de lluvia. La pendiente mínima recomendada para evacuar el agua de lluvia es del 2 %.
- La pendiente suele dirigir el agua hacia sumideros interiores; los imbornales perimetrales pueden utilizarse como rebosaderos.

- En cubiertas con varias faldas de desagüe, la pendiente mínima requerida se mide en el plano de menor pendiente, que suele encontrarse en la intersección diagonal de dos faldas.

- La pendiente mínima requerida puede obtenerse por diversos medios. La pendientes pueden conseguirse mediante una capa de nivelación de hormigón ligero, o bien utilizando planchas rígidas de aislamiento en forma de cuña.

- La pendiente también puede obtenerse a través de los elementos de la estructura, como cerchas con el cordón superior inclinado o perfiles que tengan inclinada el ala superior.

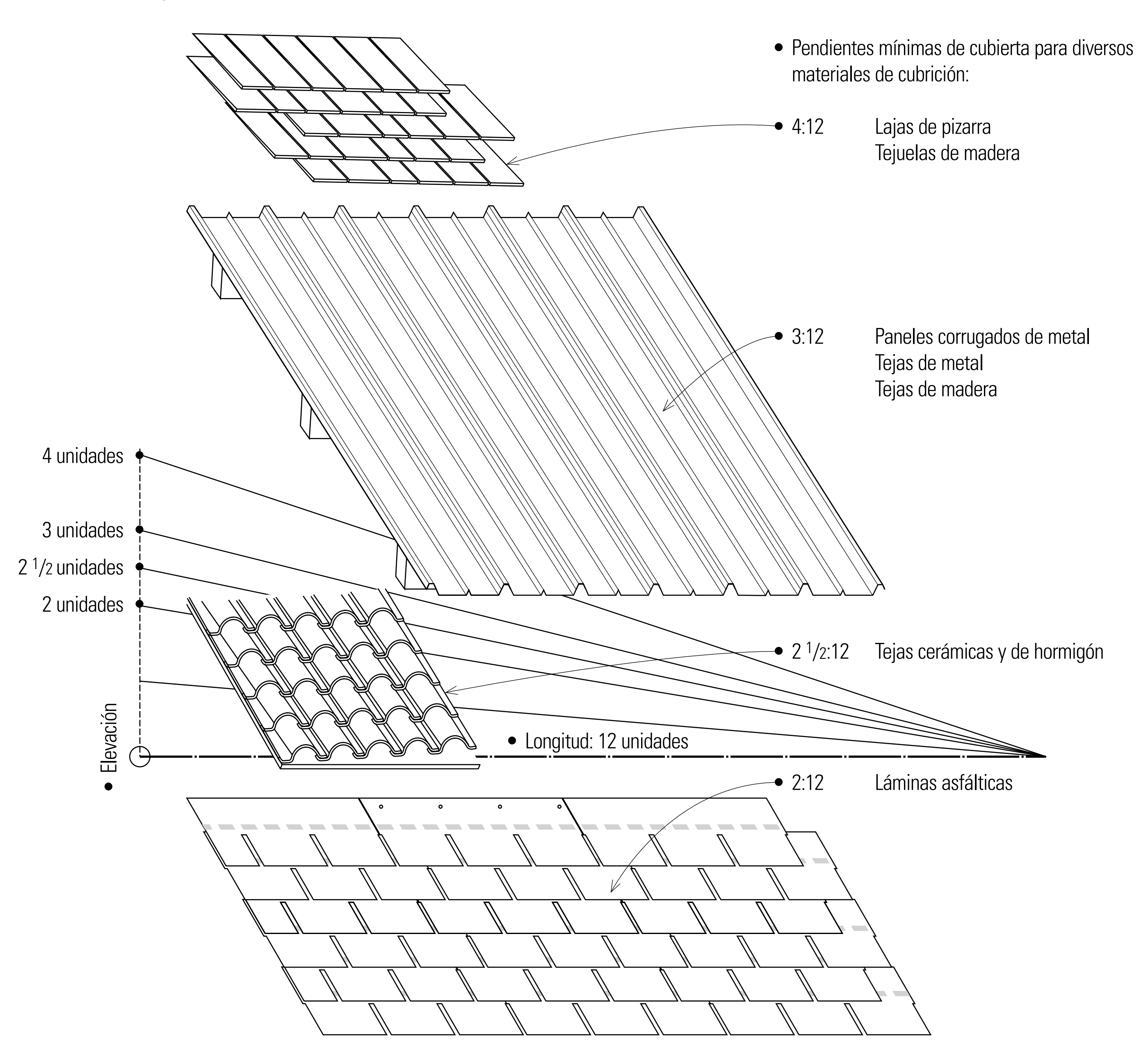
- Una tercera opción consiste en modificar la altura de los soportes, de forma que los elementos de la estructura que salvan la luz se encuentren ligeramente inclinados.

Cubiertas inclinadas

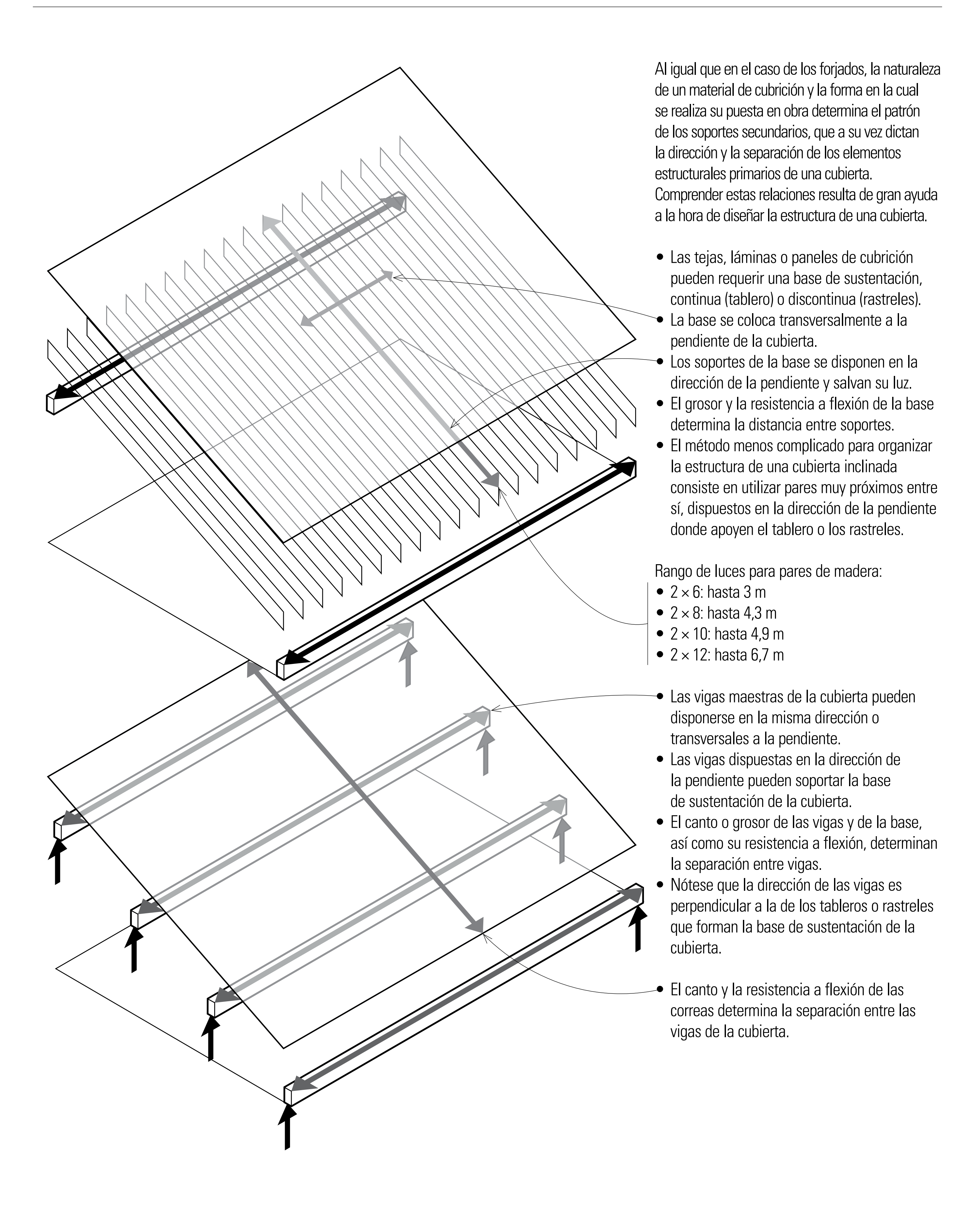
La pendiente de la cubierta afecta a la elección del material de cubrición y de los sistemas de fijación de la base y los aleros, así como a la respuesta estructural frente a las cargas de viento. Algunos materiales de cubrición son adecuados para cubiertas de poca pendiente; otros, en cambio, solo son aptos para cubiertas de fuerte pendiente, ya que de otra forma no podrían evacuar correctamente el agua de lluvia.

- Las cubiertas inclinadas evacuan el agua de lluvia más fácilmente, hacia canalones situados en los aleros, que las cubiertas planas.

- Pendientes mínimas de cubierta para diversos materiales de cubrición:



- La altura y la superficie de una cubierta inclinada aumenta con las dimensiones horizontales.
- El espacio bajo una cubierta de gran pendiente puede ser habitable.
- El techo puede colgar de la cubierta o contar con un sistema estructural propio.



Al igual que en el caso de los forjados, la naturaleza de un material de cubrición y la forma en la cual se realiza su puesta en obra determina el patrón de los soportes secundarios, que a su vez dictan la dirección y la separación de los elementos estructurales primarios de una cubierta. Comprender estas relaciones resulta de gran ayuda a la hora de diseñar la estructura de una cubierta.

- Las tejas, láminas o paneles de cubrición pueden requerir una base de sustentación, continua (tablero) o discontinua (rastreles).
- La base se coloca transversalmente a la pendiente de la cubierta.
- Los soportes de la base se disponen en la dirección de la pendiente y salvan su luz.
- El grosor y la resistencia a flexión de la base determina la distancia entre soportes.
- El método menos complicado para organizar la estructura de una cubierta inclinada consiste en utilizar pares muy próximos entre sí, dispuestos en la dirección de la pendiente donde apoyen el tablero o los rastreles.

Rango de luces para pares de madera:
- 2 × 6: hasta 3 m
- 2 × 8: hasta 4,3 m
- 2 × 10: hasta 4,9 m
- 2 × 12: hasta 6,7 m

- Las vigas maestras de la cubierta pueden disponerse en la misma dirección o transversales a la pendiente.
- Las vigas dispuestas en la dirección de la pendiente pueden soportar la base de sustentación de la cubierta.
- El canto o grosor de las vigas y de la base, así como su resistencia a flexión, determinan la separación entre vigas.
- Nótese que la dirección de las vigas es perpendicular a la de los tableros o rastreles que forman la base de sustentación de la cubierta.

- El canto y la resistencia a flexión de las correas determina la separación entre las vigas de la cubierta.

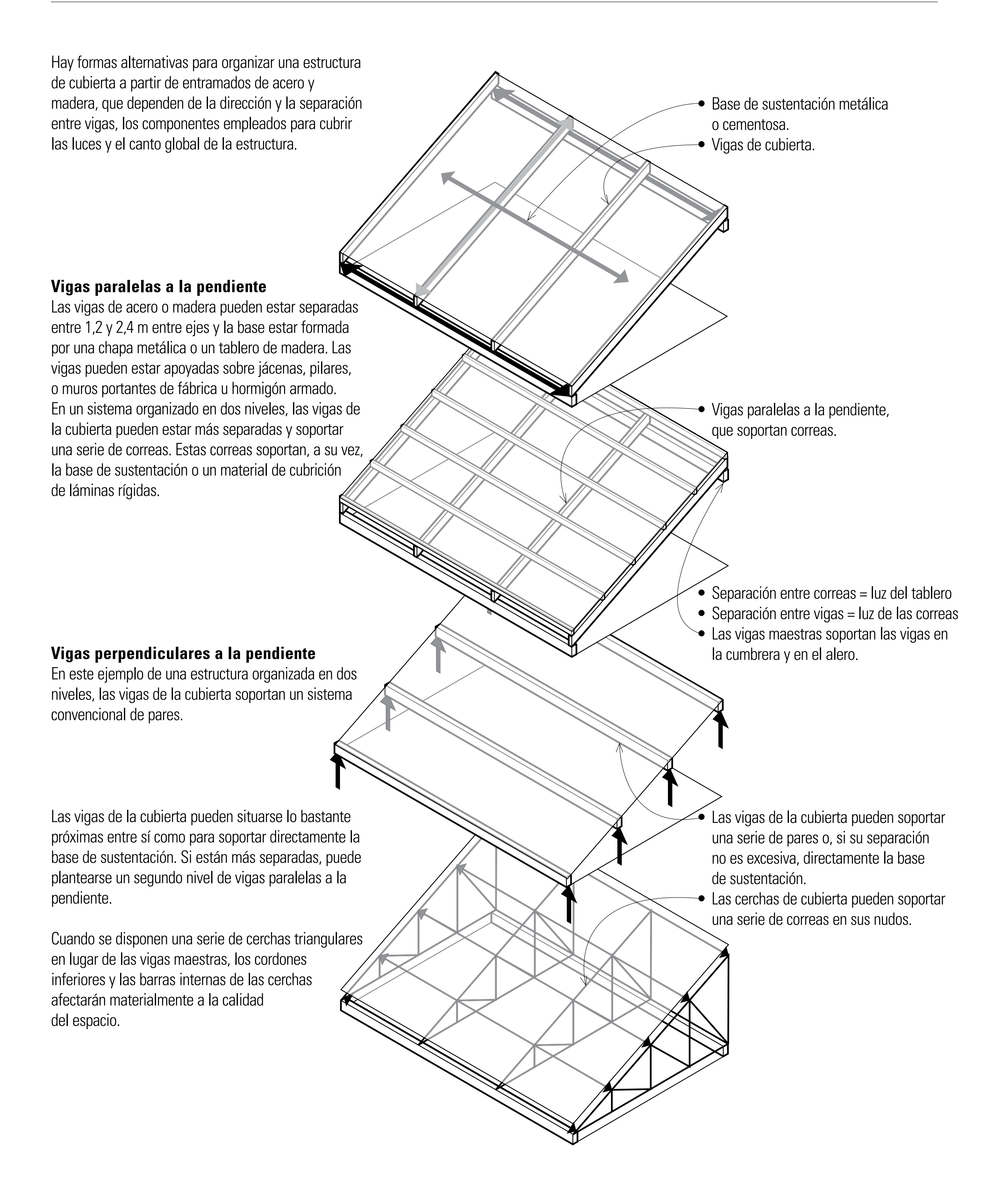
Hay formas alternativas para organizar una estructura de cubierta a partir de entramados de acero y madera, que dependen de la dirección y la separación entre vigas, los componentes empleados para cubrir las luces y el canto global de la estructura.

Vigas paralelas a la pendiente
Las vigas de acero o madera pueden estar separadas entre 1,2 y 2,4 m entre ejes y la base estar formada por una chapa metálica o un tablero de madera. Las vigas pueden estar apoyadas sobre jácenas, pilares, o muros portantes de fábrica u hormigón armado.
En un sistema organizado en dos niveles, las vigas de la cubierta pueden estar más separadas y soportar una serie de correas. Estas correas soportan, a su vez, la base de sustentación o un material de cubrición de láminas rígidas.

Vigas perpendiculares a la pendiente
En este ejemplo de una estructura organizada en dos niveles, las vigas de la cubierta soportan un sistema convencional de pares.

Las vigas de la cubierta pueden situarse lo bastante próximas entre sí como para soportar directamente la base de sustentación. Si están más separadas, puede plantearse un segundo nivel de vigas paralelas a la pendiente.

Cuando se disponen una serie de cerchas triangulares en lugar de las vigas maestras, los cordones inferiores y las barras internas de las cerchas afectarán materialmente a la calidad del espacio.

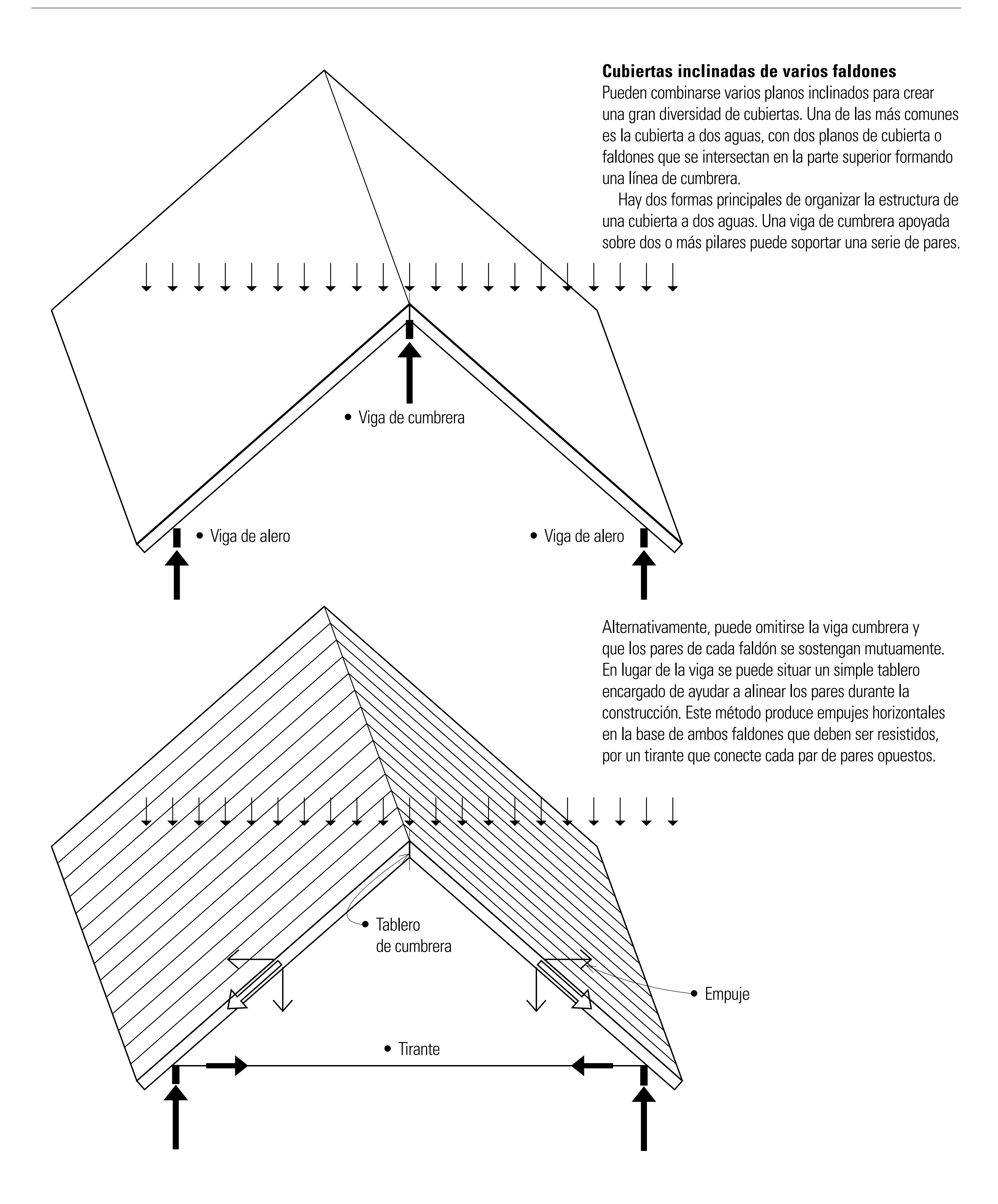


Cubiertas inclinadas de varios faldones

Pueden combinarse varios planos inclinados para crear una gran diversidad de cubiertas. Una de las más comunes es la cubierta a dos aguas, con dos planos de cubierta o faldones que se intersectan en la parte superior formando una línea de cumbrera.

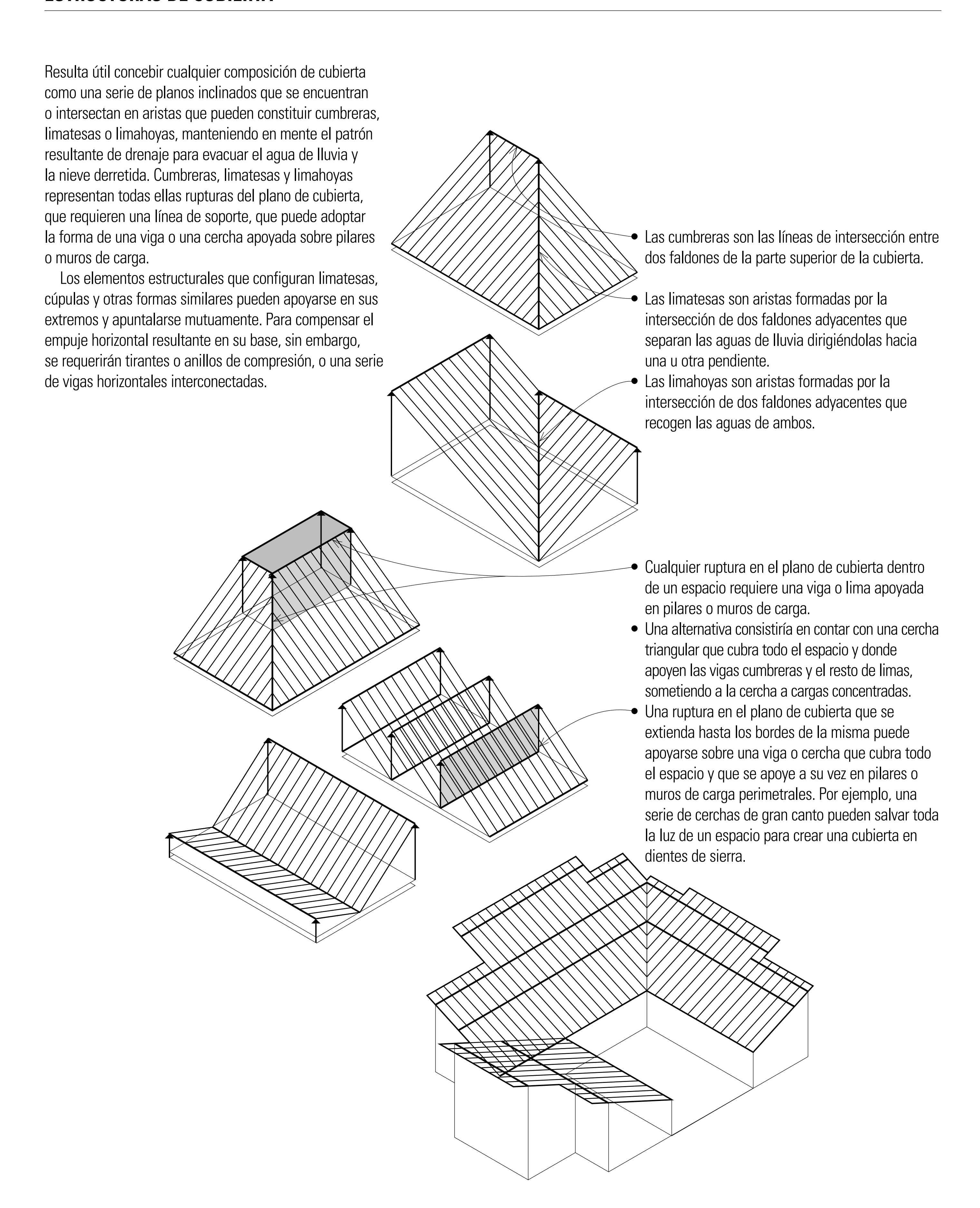
Hay dos formas principales de organizar la estructura de una cubierta a dos aguas. Una viga de cumbrera apoyada sobre dos o más pilares puede soportar una serie de pares.

Alternativamente, puede omitirse la viga cumbrera y que los pares de cada faldón se sostengan mutuamente. En lugar de la viga se puede situar un simple tablero encargado de ayudar a alinear los pares durante la construcción. Este método produce empujes horizontales en la base de ambos faldones que deben ser resistidos, por un tirante que conecte cada par de pares opuestos.



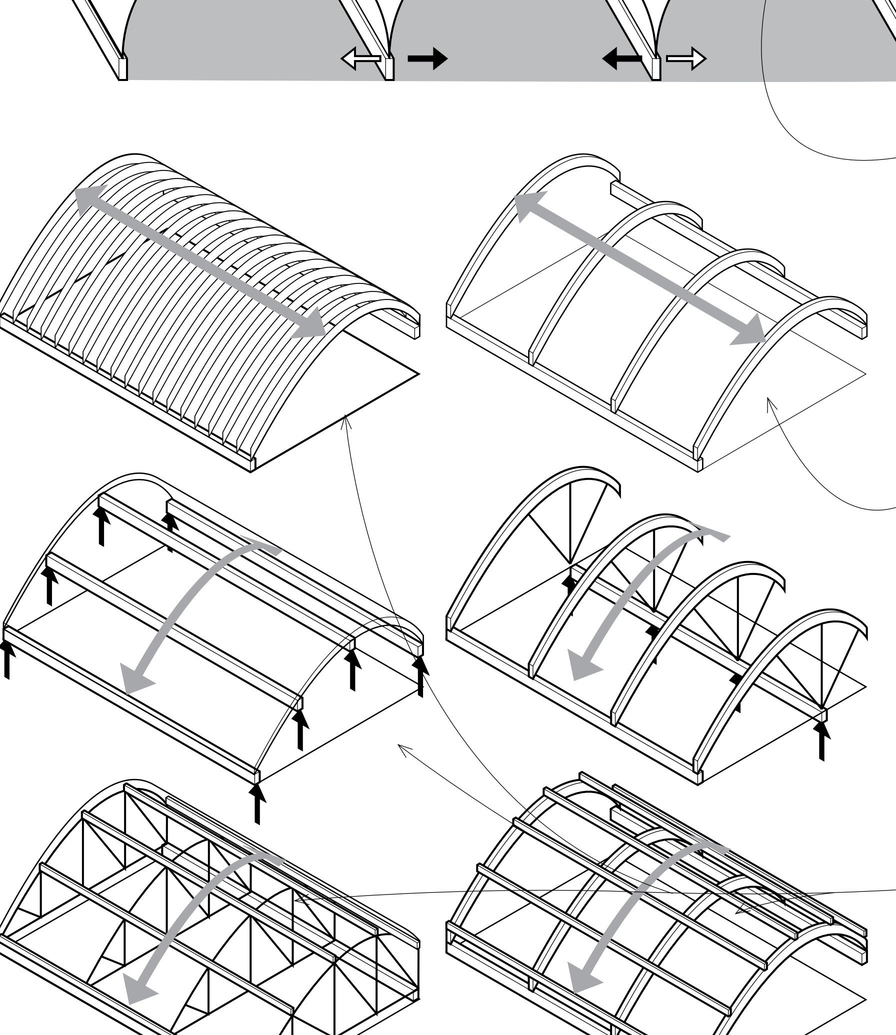
Resulta útil concebir cualquier composición de cubierta como una serie de planos inclinados que se encuentran o intersectan en aristas que pueden constituir cumbreras, limatesas o limahoyas, manteniendo en mente el patrón resultante de drenaje para evacuar el agua de lluvia y la nieve derretida. Cumbreras, limatesas y limahoyas representan todas ellas rupturas del plano de cubierta, que requieren una línea de soporte, que puede adoptar la forma de una viga o una cercha apoyada sobre pilares o muros de carga.

Los elementos estructurales que configuran limatesas, cúpulas y otras formas similares pueden apoyarse en sus extremos y apuntalarse mutuamente. Para compensar el empuje horizontal resultante en su base, sin embargo, se requerirán tirantes o anillos de compresión, o una serie de vigas horizontales interconectadas.



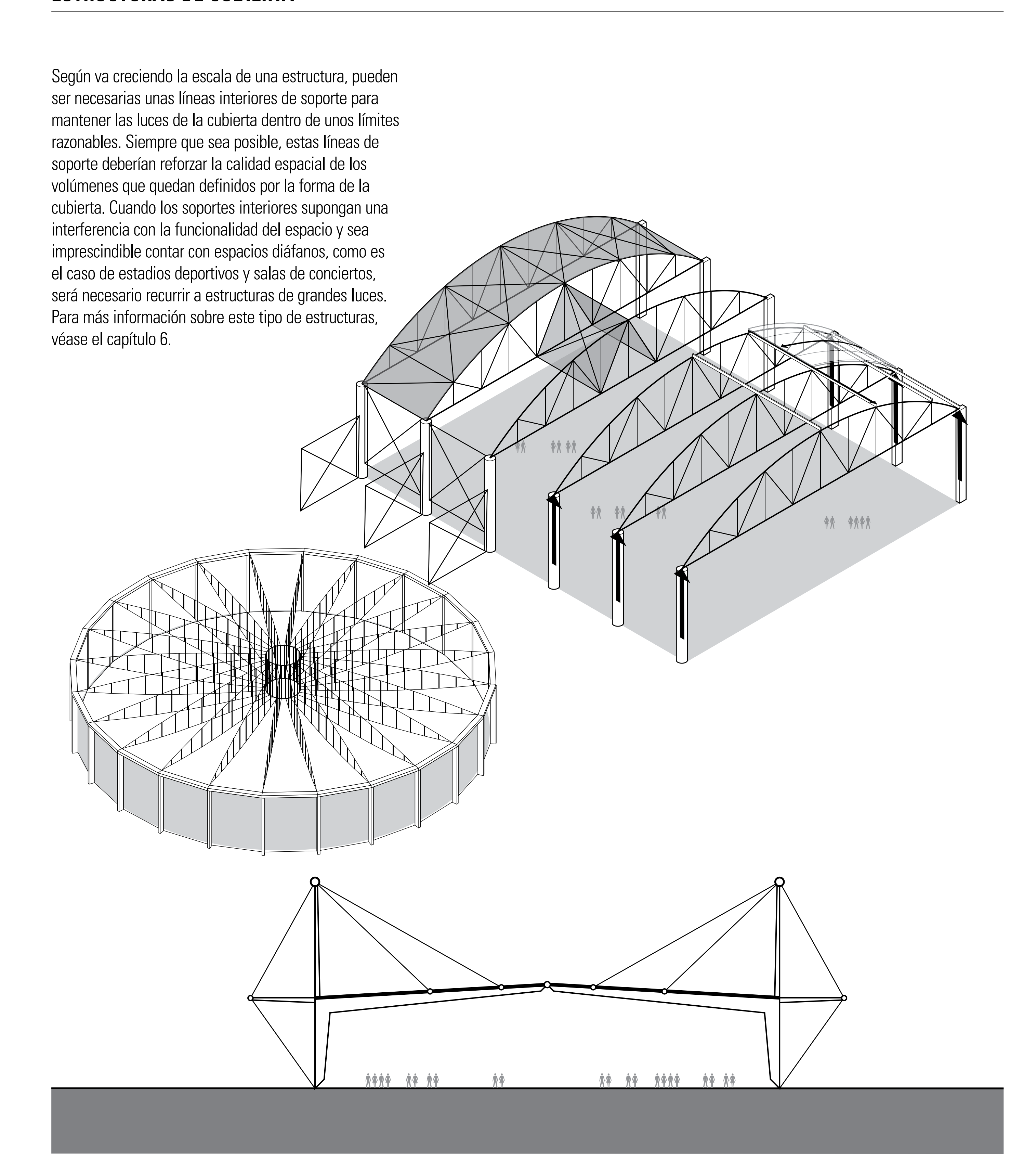
Cubiertas abovedadas

Las cubiertas conformadas como superficies curvas pueden soportarse mediante elementos que se adapten a dicha curvatura, como cerchas o vigas de perfiles conformados de acero o de madera laminada, para ajustarse al perfil deseado de la forma o el espacio.

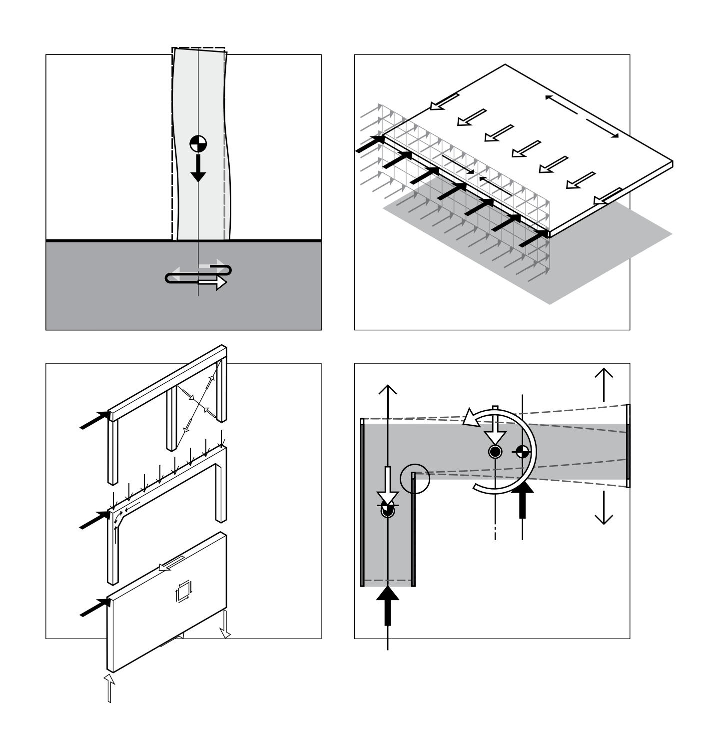


- Las losas de hormigón también pueden adaptarse a la curvatura deseada y extrudirse en dirección longitudinal. Por ejemplo, una losa de medio cañón puede extrudirse para comportarse como una viga de gran canto con sección curva que trabaje en dirección longitudinal. Sin embargo, si la losa es relativamente corta, su comportamiento será más parecido al de un arco, por lo cual será necesario disponer tirantes o entramados rígidos transversales para contrarrestar los empujes horizontales del arco.
- Los elementos de hormigón pueden ser ejecutados in situ, pero esto solo resultaría económico en situaciones en las cuales las luces fueran grandes y la repetición mínima. En el caso de tener elementos repetitivos, son más económicos los componentes prefabricados de hormigón. Un elemento estructural a medida resulta más eficaz cuanto su perfil se aproxima más al diagrama de momentos que debe soportar. Por ejemplo, su sección debería ser mayor allí donde los momentos a resistir sean mayores.
- Cuando se organiza un entramado estructural para soportar una cubierta curva mediante sistemas unidireccionales, pueden aplicarse las mismas consideraciones que respecto a las luces y a la dirección de los elementos primarios y secundarios en las cubiertas planas e inclinadas.

Según va creciendo la escala de una estructura, pueden ser necesarias unas líneas interiores de soporte para mantener las luces de la cubierta dentro de unos límites razonables. Siempre que sea posible, estas líneas de soporte deberían reforzar la calidad espacial de los volúmenes que quedan definidos por la forma de la cubierta. Cuando los soportes interiores supongan una interferencia con la funcionalidad del espacio y sea imprescindible contar con espacios diáfanos, como es el caso de estadios deportivos y salas de conciertos, será necesario recurrir a estructuras de grandes luces. Para más información sobre este tipo de estructuras, véase el capítulo 6.



5
Estabilidad lateral

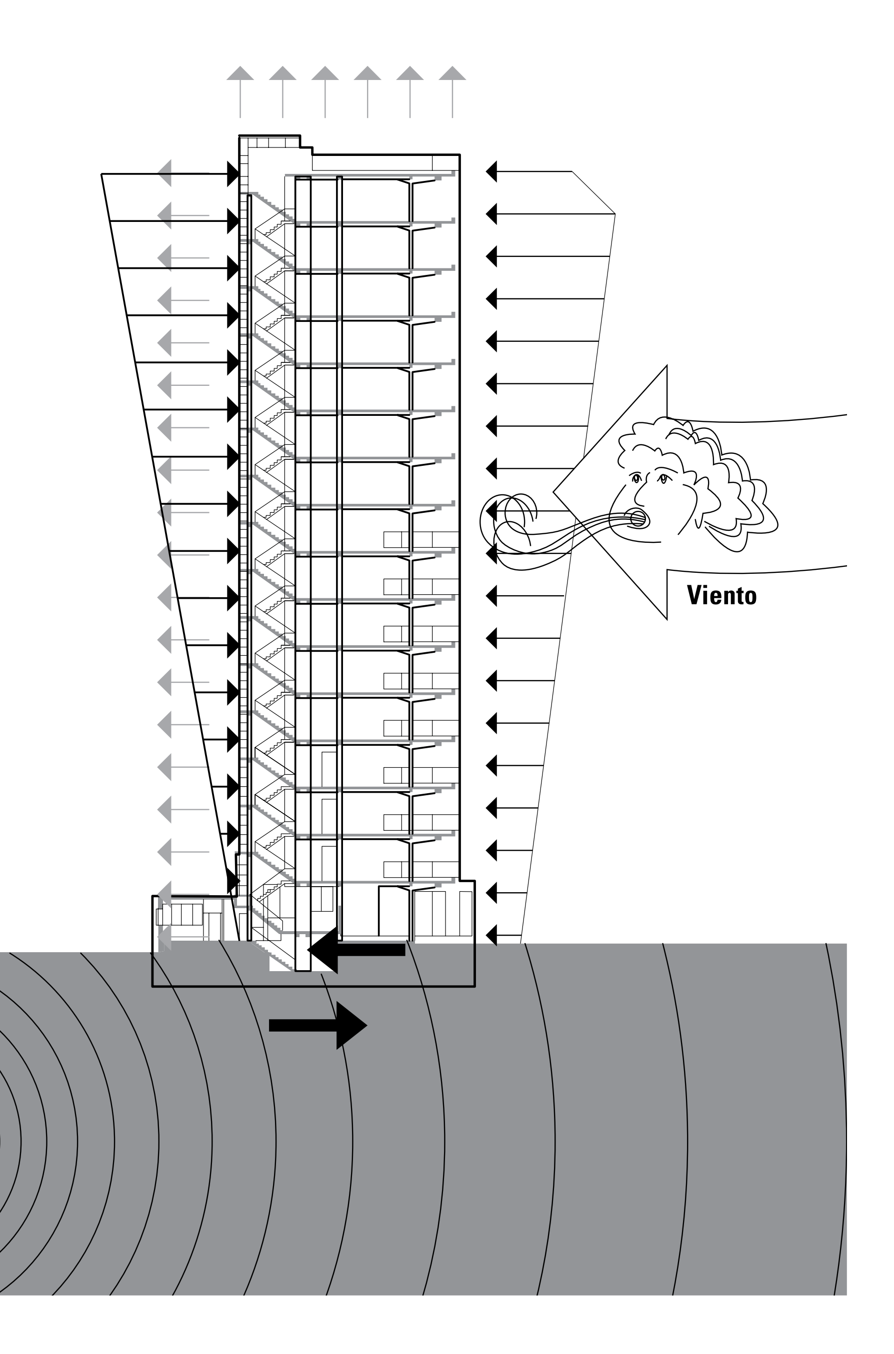


Cuando consideramos el sistema estructural de un edificio, normalmente pensamos en primer lugar en cómo están diseñados los soportes verticales y los forjados horizontales que trasladan hasta los cimientos las cargas gravitatorias debidas al peso propio de la construcción y a las sobrecargas de uso. Sin embargo, resulta igualmente crítica para la estabilidad del edificio su resistencia frente a una combinación de condiciones —viento, terremotos, empujes del terreno o temperatura— que pueden desestabilizar a los elementos encargados de trasladar las cargas gravitatorias. De todas estas, las fuerzas ejercidas por el viento y por los terremotos constituyen el tema principal de este capítulo. El viento y los terremotos someten a una estructura a una carga dinámica, a menudo con cambios súbitos en la magnitud y en el punto de aplicación. Bajo una carga dinámica, una estructura desarrolla fuerzas inerciales en relación con su masa, de forma que su máxima deformación no se corresponde necesariamente con la máxima magnitud de la fuerza aplicada. A pesar de su naturaleza dinámica, las cargas producidas por el viento y los terremotos se tratan normalmente como cargas estáticas aplicadas lateralmente.

Viento
Las cargas de viento son el resultado de las fuerzas ejercidas por la energía cinética de una masa de aire en movimiento, que puede producir una combinación de presión directa, presión negativa o succión, y fuerzas de arrastre sobre edificios y cualquier otro obstáculo que encuentre en su camino. Generalmente se asume que las cargas de viento están aplicadas de forma normal o perpendicular a las superficies afectadas del edificio.

Terremotos
Las fuerzas sísmicas resultantes de los movimientos vibratorios del terreno que se producen durante un terremoto pueden provocar que la base de un edificio se desplace repentinamente, induciendo una sacudida de la estructura en todas las direcciones simultáneamente.

Aunque los movimientos sísmicos del terreno son tridimensionales por naturaleza y tienen componentes horizontales, verticales y rotacionales, se considera que el componente horizontal es el más importante a efectos estructurales. Durante un terremoto, la masa de la estructura de un edificio desarrolla una fuerza inercial en la medida en la cual intenta oponerse a la aceleración horizontal del terreno. El resultado es una carga cortante entre el terreno y la masa del edificio, que se distribuye en cada forjado o diafragma situado por encima de la base.

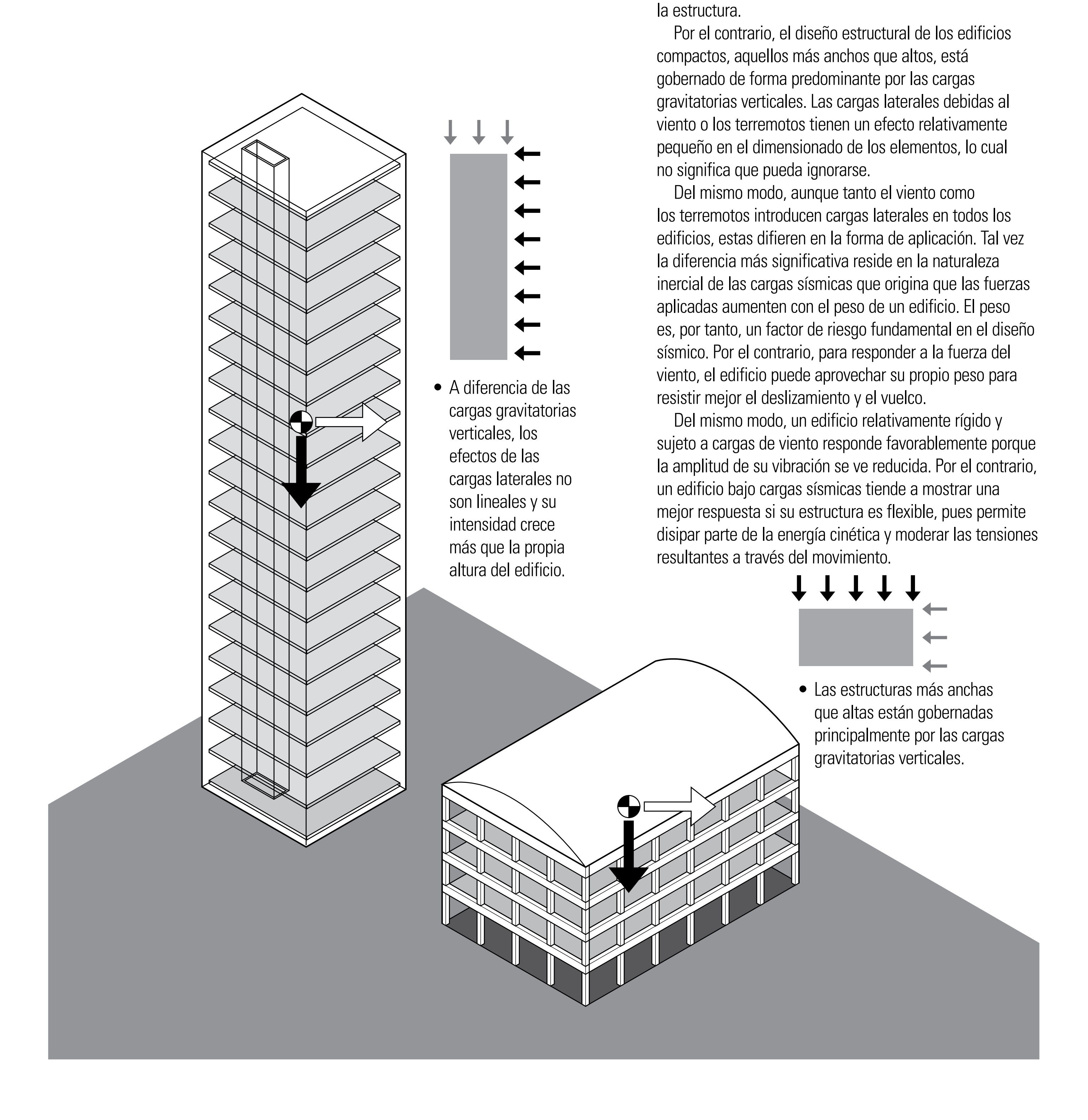


Todos los edificios están sometidos a la acción lateral del viento y los terremotos. Los sistemas estructurales de edificios altos o esbeltos tienden a estar dominados por la necesidad de resistir las cargas laterales, que pueden provocar grandes momentos de flexión y provocar un desplazamiento lateral de los elementos verticales de la estructura.

Por el contrario, el diseño estructural de los edificios compactos, aquellos más anchos que altos, está gobernado de forma predominante por las cargas gravitatorias verticales. Las cargas laterales debidas al viento o los terremotos tienen un efecto relativamente pequeño en el dimensionado de los elementos, lo cual no significa que pueda ignorarse.

Del mismo modo, aunque tanto el viento como los terremotos introducen cargas laterales en todos los edificios, estas difieren en la forma de aplicación. Tal vez la diferencia más significativa reside en la naturaleza inercial de las cargas sísmicas que origina que las fuerzas aplicadas aumenten con el peso de un edificio. El peso es, por tanto, un factor de riesgo fundamental en el diseño sísmico. Por el contrario, para responder a la fuerza del viento, el edificio puede aprovechar su propio peso para resistir mejor el deslizamiento y el vuelco.

Del mismo modo, un edificio relativamente rígido y sujeto a cargas de viento responde favorablemente porque la amplitud de su vibración se ve reducida. Por el contrario, un edificio bajo cargas sísmicas tiende a mostrar una mejor respuesta si su estructura es flexible, pues permite disipar parte de la energía cinética y moderar las tensiones resultantes a través del movimiento.



- A diferencia de las cargas gravitatorias verticales, los efectos de las cargas laterales no son lineales y su intensidad crece más que la propia altura del edificio.

- Las estructuras más anchas que altas están gobernadas principalmente por las cargas gravitatorias verticales.

El viento es una masa de aire en movimiento. Los edificios y cualquier otra estructura representan obstáculos que impiden o desvían el viento, convirtiendo la energía cinética de la masa de aire en movimiento en energía potencial de compresión.

La presión del viento aumenta en función de la velocidad del mismo. La velocidad media del viento en cualquier zona, medida durante largos períodos de tiempo, generalmente aumenta con la altura. La tasa de crecimiento de la velocidad media también es función de la rugosidad del terreno y de las interferencias producidas por los objetos circundantes, que incluyen otros edificios, la vegetación y la orografía.

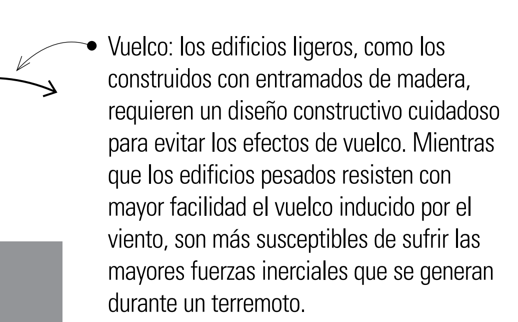
- Presión directa: las superficies del edificio enfrentadas a la dirección del viento (fachadas a barlovento) reciben la mayor parte de las cargas de viento en forma de presión directa.

- Succión: las superficies del edificio situadas a sotavento o en los laterales, así como los faldones situados a barlovento con una inclinación inferior a 30°, experimentan una presión negativa o succión que puede provocar un desprendimiento de los materiales de revestimientos de la fachada o la cubierta.

- Arrastre: una masa de aire no deja de moverse cuando choca contra un edificio, sino que fluye a su alrededor como un fluido. Las superficies paralelas a la dirección del viento están sometidas a esfuerzos cortantes longitudinales debido a la fricción.

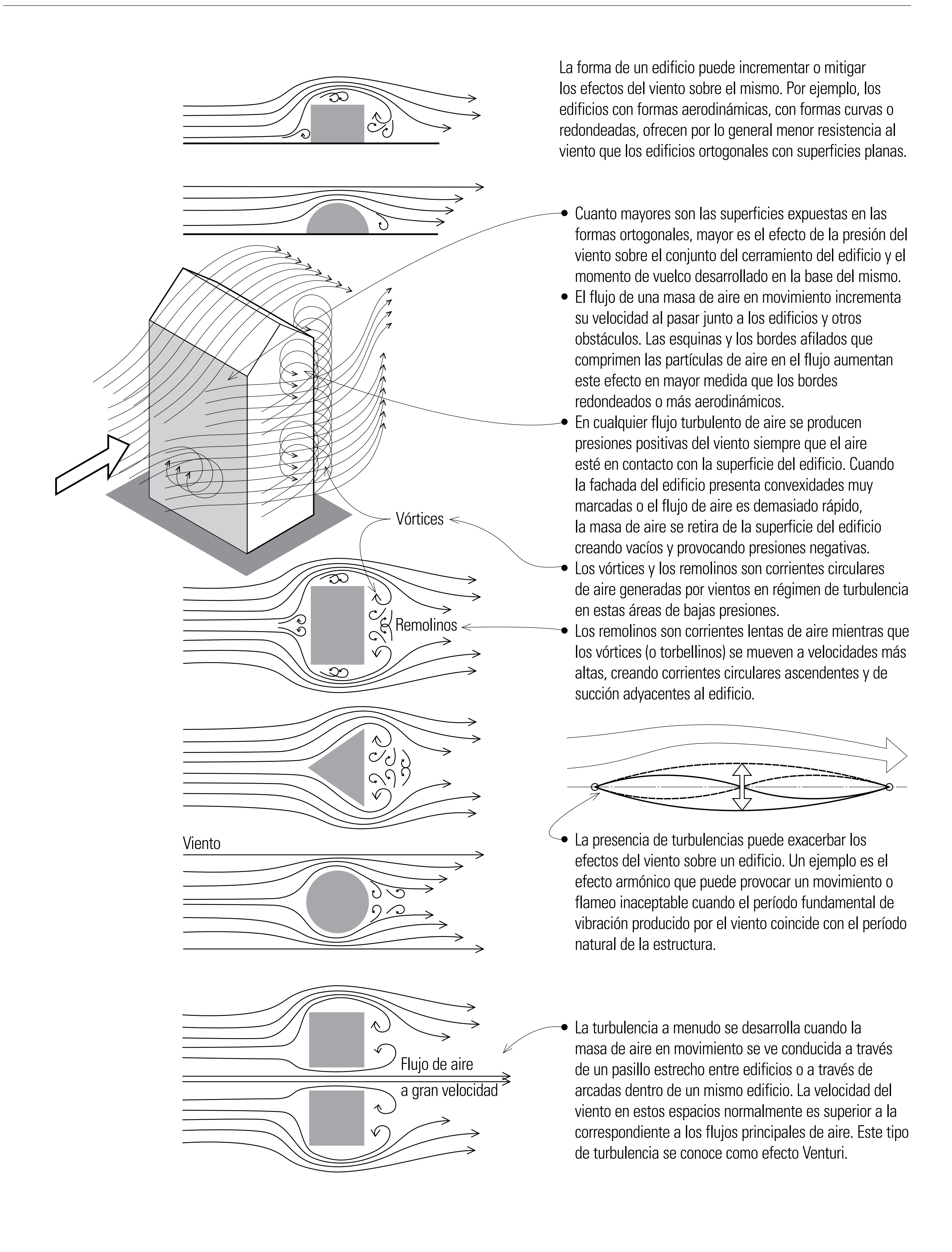
El efecto primario del viento sobre los edificios son una serie de cargas laterales que debe soportar el conjunto de la estructura y en particular el cerramiento exterior. El efecto global implica una combinación de presión directa, presión negativa o succión, y fuerzas de arrastre. La presión del viento también puede provocar que una estructura se deslice o incluso llegue a volcar.

- Deslizamiento: la presión del viento puede hacer que un edificio se traslade o desplace lateralmente debido a los esfuerzos cortantes creados entre la estructura y sus cimientos. Para prevenir este tipo de colapso es necesario un anclaje adecuado.



- Vuelco: los edificios ligeros, como los construidos con entramados de madera, requieren un diseño constructivo cuidadoso para evitar los efectos de vuelco. Mientras que los edificios pesados resisten con mayor facilidad el vuelco inducido por el viento, son más susceptibles de sufrir las mayores fuerzas inerciales que se generan durante un terremoto.
- La carga de vuelco producida por la presión del viento puede verse amplificada por un incremento de la velocidad del viento o de las superficies expuestas del edificio.

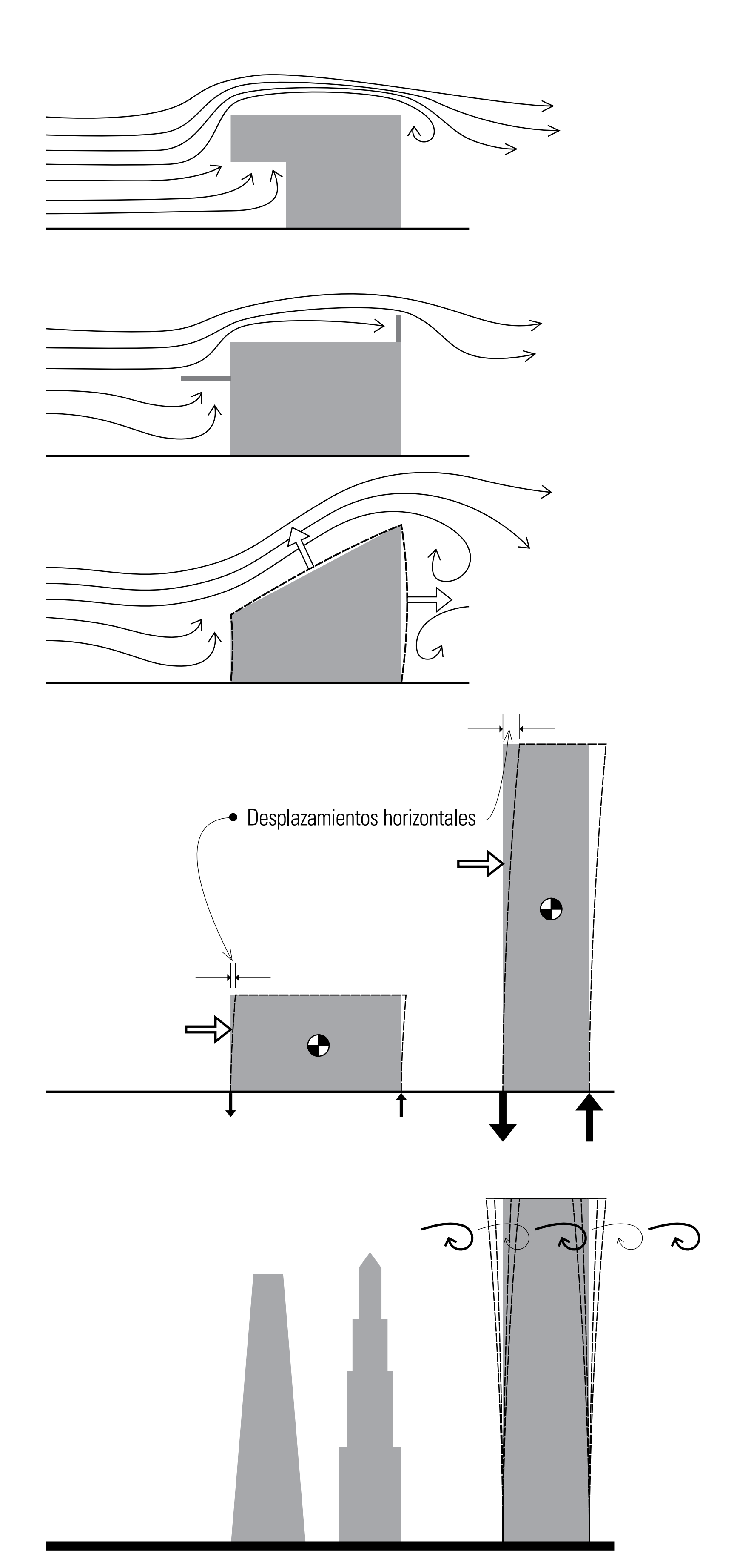
La forma de un edificio puede incrementar o mitigar los efectos del viento sobre el mismo. Por ejemplo, los edificios con formas aerodinámicas, con formas curvas o redondeadas, ofrecen por lo general menor resistencia al viento que los edificios ortogonales con superficies planas.



- Cuanto mayores son las superficies expuestas en las formas ortogonales, mayor es el efecto de la presión del viento sobre el conjunto del cerramiento del edificio y el momento de vuelco desarrollado en la base del mismo.
- El flujo de una masa de aire en movimiento incrementa su velocidad al pasar junto a los edificios y otros obstáculos. Las esquinas y los bordes afilados que comprimen las partículas de aire en el flujo aumentan este efecto en mayor medida que los bordes redondeados o más aerodinámicos.
- En cualquier flujo turbulento de aire se producen presiones positivas del viento siempre que el aire esté en contacto con la superficie del edificio. Cuando la fachada del edificio presenta convexidades muy marcadas o el flujo de aire es demasiado rápido, la masa de aire se retira de la superficie del edificio creando vacíos y provocando presiones negativas.
- Los vórtices y los remolinos son corrientes circulares de aire generadas por vientos en régimen de turbulencia en estas áreas de bajas presiones.
- Los remolinos son corrientes lentas de aire mientras que los vórtices (o torbellinos) se mueven a velocidades más altas, creando corrientes circulares ascendentes y de succión adyacentes al edificio.

- La presencia de turbulencias puede exacerbar los efectos del viento sobre un edificio. Un ejemplo es el efecto armónico que puede provocar un movimiento o flameo inaceptable cuando el período fundamental de vibración producido por el viento coincide con el período natural de la estructura.

- La turbulencia a menudo se desarrolla cuando la masa de aire en movimiento se ve conducida a través de un pasillo estrecho entre edificios o a través de arcadas dentro de un mismo edificio. La velocidad del viento en estos espacios normalmente es superior a la correspondiente a los flujos principales de aire. Este tipo de turbulencia se conoce como efecto Venturi.



- Los edificios con lados abiertos o con retranqueos que capturan el viento están sometidos a mayores cargas de viento a efectos de cálculo.

- Los elementos proyectados como petos, balcones, aleros y voladizos están sometidos a mayores presiones localizadas por parte de las corrientes de aire en movimiento.

- La presión del viento puede someter a muros muy altos y a pares que salven grandes luces a momentos de flexión y flechas importantes.

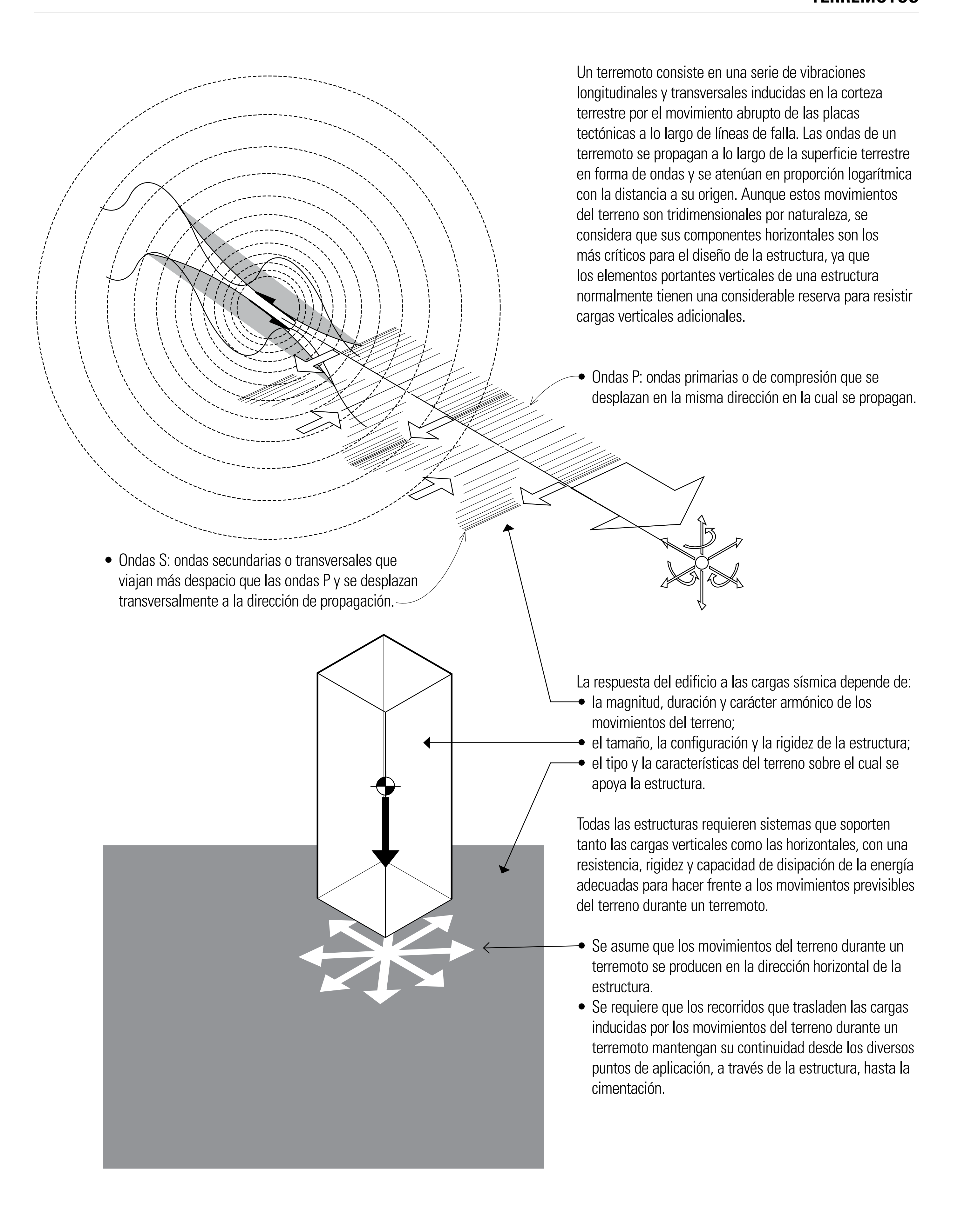
El viento produce cargas dinámicas en las estructuras altas y esbeltas que superan las prácticas habituales de diseño. El diseño eficiente de un sistema estructural y de cerramiento para edificios en altura requiere conocimientos acerca del impacto de la acción del viento sobre formas esbeltas. Los ingenieros de estructuras utilizan túneles de viento y modelos informáticos para determinar el esfuerzo cortante total sobre la base del edificio, el momento de vuelco, así como la distribución planta por planta de la presión del viento sobre una estructura, recogiendo también información sobre cómo pueden afectar los movimientos del edificio al confort de sus ocupantes.

- Los edificios altos y esbeltos, con una altura mucho mayor que su base, experimentan mayores desplazamientos horizontales en su parte superior y son más susceptibles a los momentos de vuelco.

- Las ráfagas cortas de viento también pueden producir presiones dinámicas que provocan desplazamientos adicionales. En el caso de edificios altos y esbeltos, estas ráfagas pueden ser dominantes y producir un movimiento dinámico que provoca una oscilación de las estructuras esbeltas.

- Las formas decrecientes exponen menor superficie al viento a medida que se asciende, lo que ayuda a contrarrestar las mayores velocidades y presiones del viento de las partes altas.

- Para más información sobre estructuras de edificios en altura, véase el capítulo 6.



Un terremoto consiste en una serie de vibraciones longitudinales y transversales inducidas en la corteza terrestre por el movimiento abrupto de las placas tectónicas a lo largo de líneas de falla. Las ondas de un terremoto se propagan a lo largo de la superficie terrestre en forma de ondas y se atenúan en proporción logarítmica con la distancia a su origen. Aunque estos movimientos del terreno son tridimensionales por naturaleza, se considera que sus componentes horizontales son los más críticos para el diseño de la estructura, ya que los elementos portantes verticales de una estructura normalmente tienen una considerable reserva para resistir cargas verticales adicionales.

- Ondas P: ondas primarias o de compresión que se desplazan en la misma dirección en la cual se propagan.

- Ondas S: ondas secundarias o transversales que viajan más despacio que las ondas P y se desplazan transversalmente a la dirección de propagación.

La respuesta del edificio a las cargas sísmica depende de:
- la magnitud, duración y carácter armónico de los movimientos del terreno;
- el tamaño, la configuración y la rigidez de la estructura;
- el tipo y la características del terreno sobre el cual se apoya la estructura.

Todas las estructuras requieren sistemas que soporten tanto las cargas verticales como las horizontales, con una resistencia, rigidez y capacidad de disipación de la energía adecuadas para hacer frente a los movimientos previsibles del terreno durante un terremoto.

- Se asume que los movimientos del terreno durante un terremoto se producen en la dirección horizontal de la estructura.
- Se requiere que los recorridos que trasladen las cargas inducidas por los movimientos del terreno durante un terremoto mantengan su continuidad desde los diversos puntos de aplicación, a través de la estructura, hasta la cimentación.

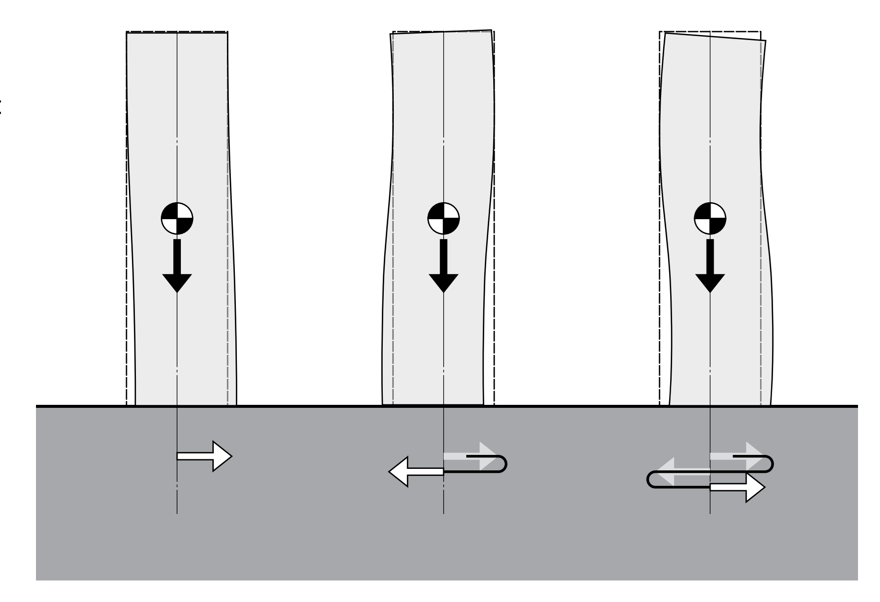
La tendencia global de un edificio sometido a un terremoto es vibrar según tiembla el terreno. La vibración inducida sísmicamente afecta a un edificio de tres maneras básicas: fuerza inercial, período fundamental de vibración y torsión.

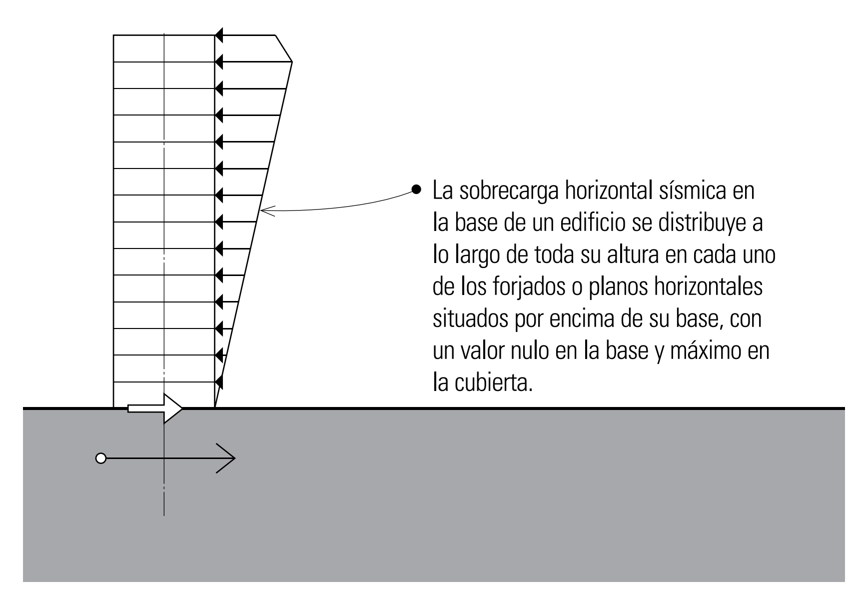
Fuerza inercial

- La primera respuesta de un edificio durante un terremoto es no moverse debido a la inercia de su masa. Sin embargo, casi instantáneamente, la aceleración del terreno provoca que la base del edificio de desplace e induzca una carga lateral en el edificio y un esfuerzo de cortante en la base (cortante sísmico o sobrecarga sísmica horizontal en la base). La fuerza inercial del edificio se opone a esta carga horizontal, pero ambas fuerzas cambian de sentido según el movimiento vibratorio hace ir y venir al edificio.
- Según la segunda ley de Newton, la fuerza inercial es igual al producto de la masa por la aceleración.
- Las fuerzas inerciales pueden mitigarse reduciendo la masa del edificio, de modo que la construcción ligera resulta preferible desde el punto de vista sísmico. Los edificios ligeros, como las viviendas de entramado de madera, generalmente se comportan bien durante los terremotos, mientras que las estructuras de fábrica están expuestas a daños significativos.
- La sobrecarga sísmica horizontal en la base es el mínimo valor de diseño para la carga sísmica lateral total sobre una estructura, y se supone que puede actuar en cualquier dirección horizontal.
- En el caso de estructuras regulares, irregulares bajas y con bajo riesgo sísmico, la sobrecarga horizontal en la base se calcula multiplicando el peso total de la estructural por una serie de coeficientes que reflejan el carácter y la intensidad de los movimientos del terreno, el tipo característico del suelo bajo la cimentación, el tipo de uso y ocupación del edificio, la distribución de la masa y la rigidez de la estructura, y el período fundamental (el tiempo requerido para una oscilación completa) de la estructura.
- En el caso de estructuras de gran altura, estructuras con formas o entramados irregulares, o en estructuras levantadas sobre suelos blandos o plásticos susceptibles de sufrir fallos o colapsos durante un terremoto, se requerirá un análisis dinámico más complejo.

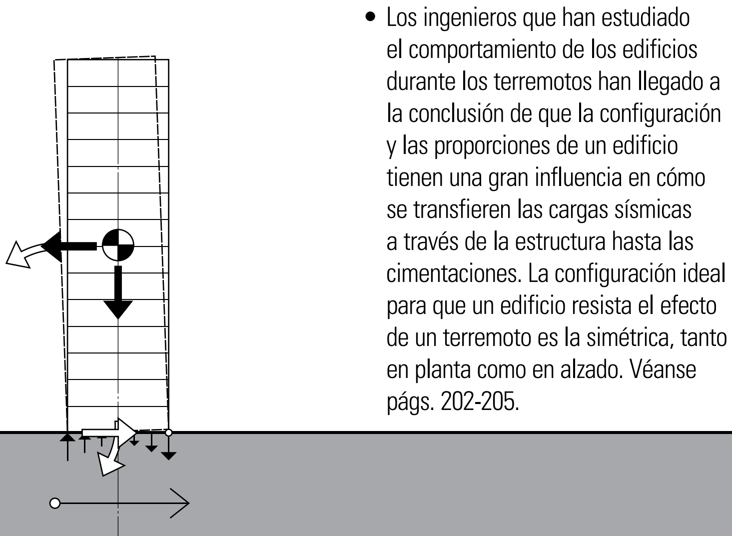
Momento de vuelco

- Cualquier carga lateral aplicada a una cierta distancia por encima de la base de la estructura genera un momento de vuelco. Para alcanzar el equilibrio, el momento de vuelco debe quedar compensado por un momento externo en sentido contrario o por un momento interno de resistencia al vuelco, proporcionado por esfuerzos desarrollados por soportes y muros rigidizadores.

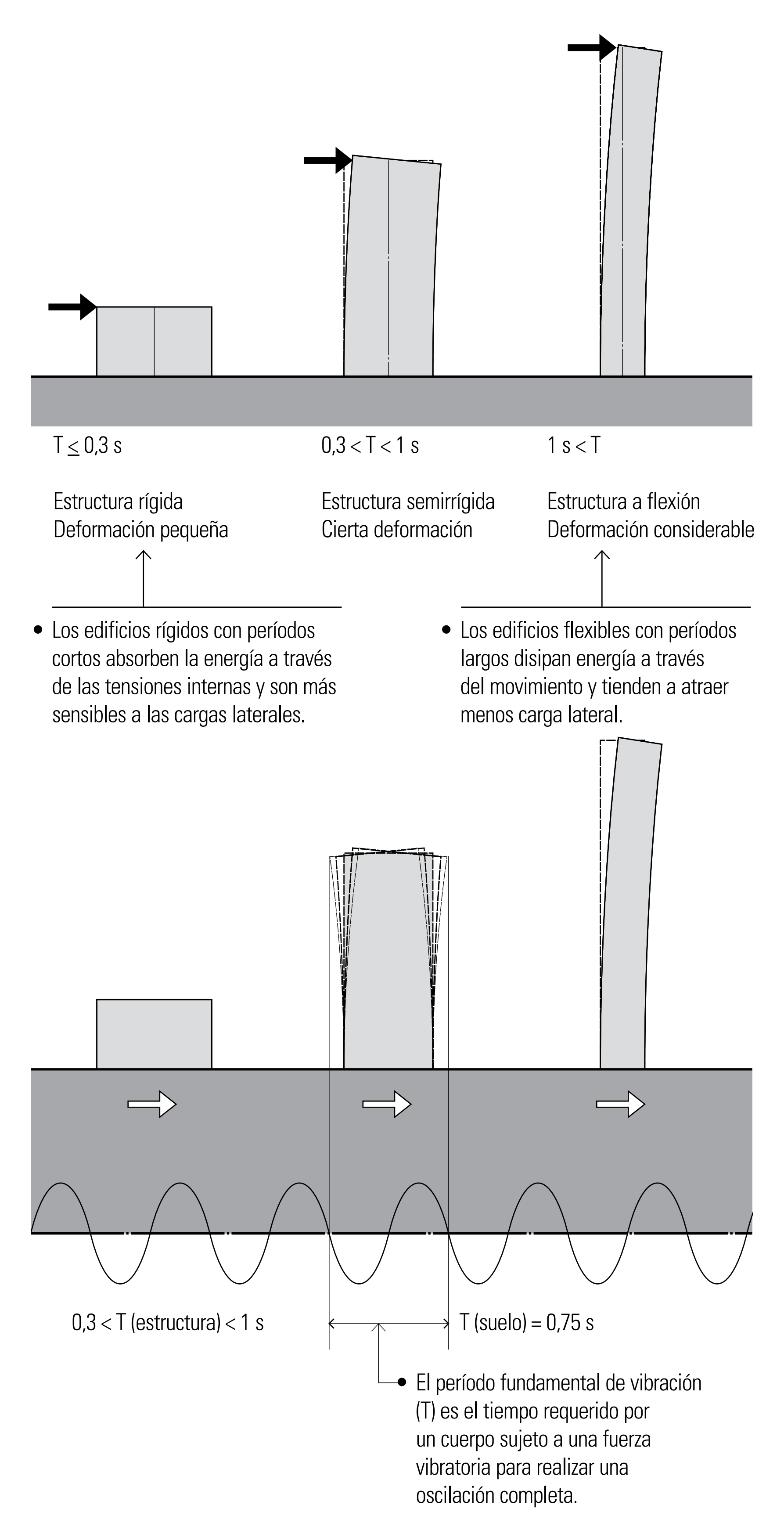




- La sobrecarga horizontal sísmica en la base de un edificio se distribuye a lo largo de toda su altura en cada uno de los forjados o planos horizontales situados por encima de su base, con un valor nulo en la base y máximo en la cubierta.



- Los ingenieros que han estudiado el comportamiento de los edificios durante los terremotos han llegado a la conclusión de que la configuración y las proporciones de un edificio tienen una gran influencia en cómo se transfieren las cargas sísmicas a través de la estructura hasta las cimentaciones. La configuración ideal para que un edificio resista el efecto de un terremoto es la simétrica, tanto en planta como en alzado. Véanse págs. 202-205.



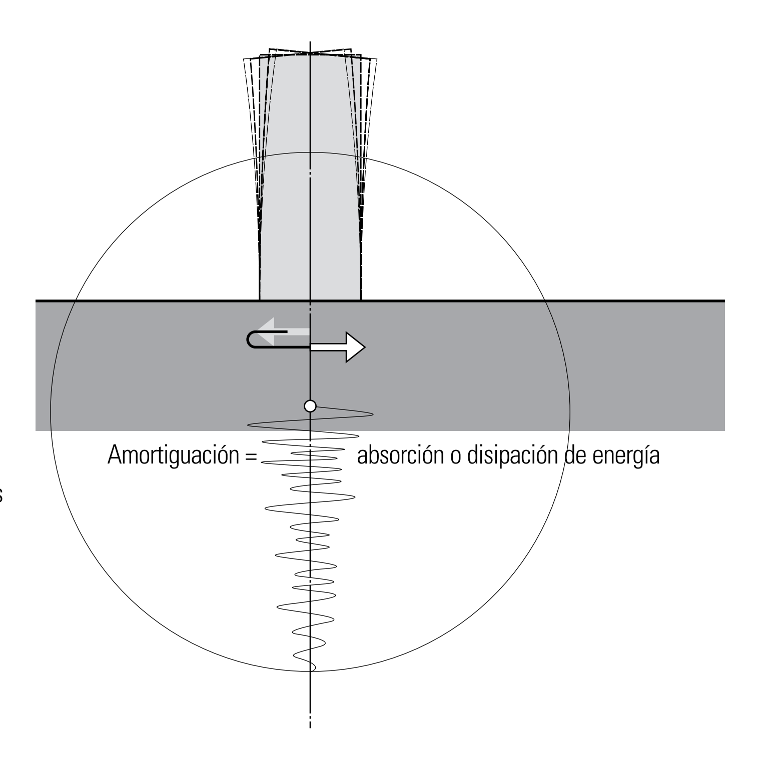
Período fundamental de vibración

El período natural o fundamental de una estructura (T) varía de acuerdo con su altura sobre la base y su dimensión en la dirección paralela a las cargas aplicadas. Las estructuras relativamente rígidas oscilan rápidamente y tienen períodos cortos, mientras que las más flexibles oscilan más lentamente y presentan períodos más largos.

Conforme se propagan las vibraciones sísmicas a través del suelo situado bajo la estructura de un edificio, pueden ser atenuadas o amplificadas dependiendo del período fundamental del material. El período fundamental del material de un terreno varía desde unos 0,4 s en el caso de suelos compactos o rocas hasta 1,5 s en el caso de suelos blandos. Los suelos muy blandos pueden tener períodos de hasta 2 s. La vibración producida por un terremoto tiende a ser superior en edificios situados sobre suelos blandos que en aquellos situados sobre suelos más duros. Si el período del suelo entra dentro del rango de períodos del edificio, es posible que esta correspondencia cree una condición de resonancia.

Cualquier amplificación de la vibración del edificio es indeseable. Un diseño estructural debería garantizar que el período del edificio no coincida con el período del suelo donde se apoya. Los edificios rígidos y de baja altura (con un período corto) resultarían adecuados en suelos blandos (período largo), en tanto que los edificios altos (período largo) deberían levantarse sobre suelos duros y rígidos (período corto).

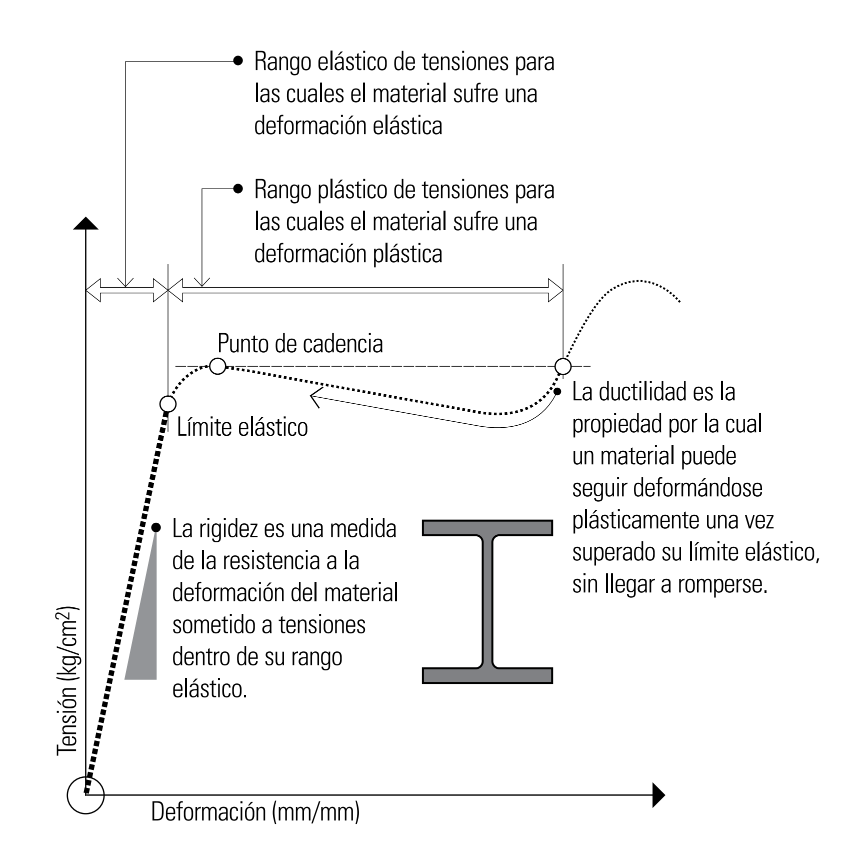
La amortiguación, la ductilidad y la resistencia-rigidez son tres características que pueden ayudar a que una estructura resista y disipe los efectos de un movimiento de origen sísmico.



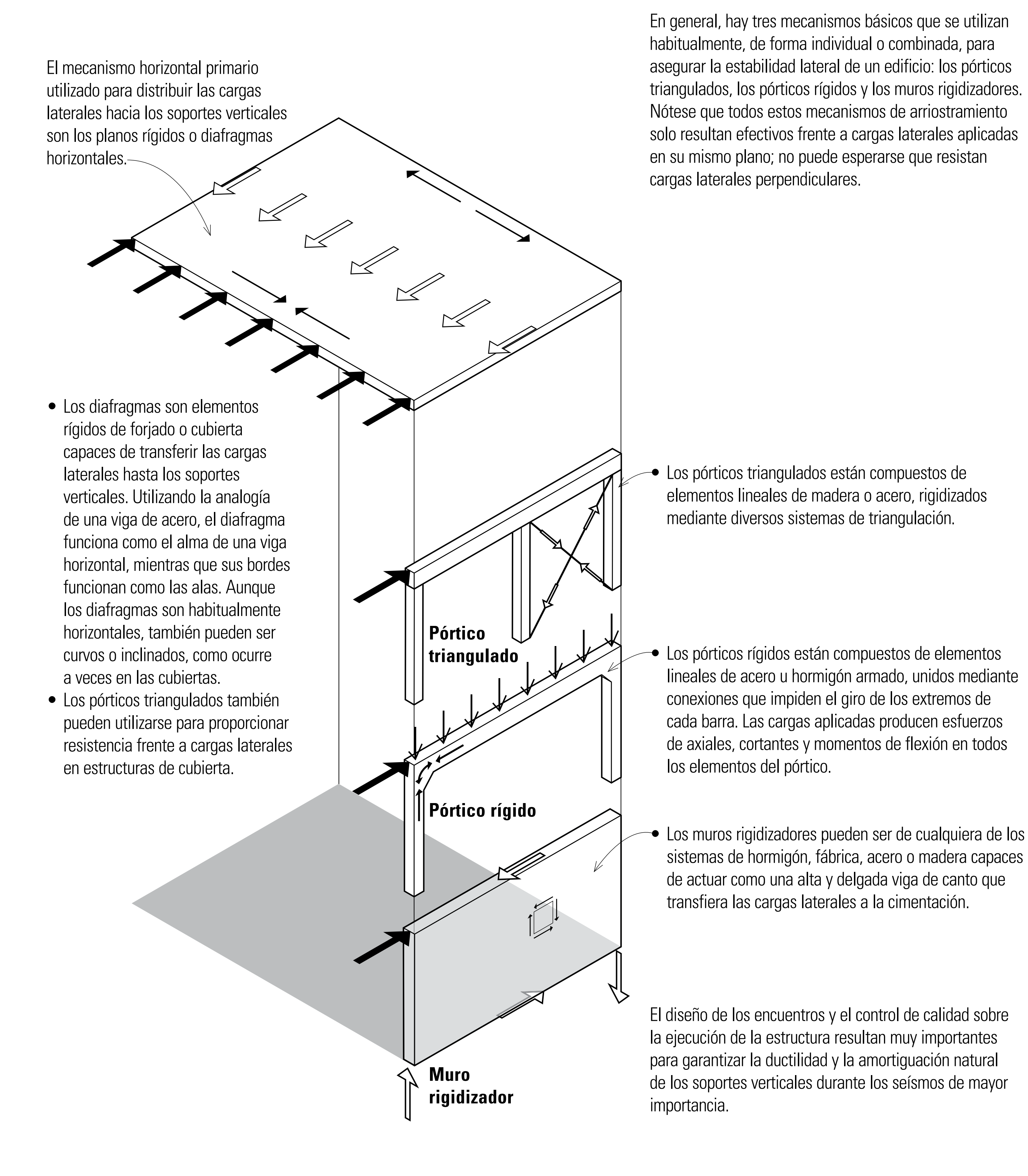
Amortiguación
La amortiguación se refiere a cualquiera de los diversos modos de absorber y disipar energía para reducir progresivamente las ondas u oscilaciones de una estructura en vibración. Para conocer tipos específicos de amortiguadores, véanse las págs. 270-272.
Además de estos métodos de amortiguación, los elementos no estructurales, las conexiones, los materiales de construcción y las decisiones de diseño pueden proporcionar diversos grados de amortiguación que reduzcan considerablemente la magnitud de la vibración o balanceo de un edificio durante un terremoto.

Ductilidad
La ductilidad es la capacidad de un elemento estructural de deformarse mucho más allá de lo permitido por su comportamiento elástico, facilitando que el exceso de carga se distribuya entre otros elementos de la estructura o entre otras partes del mismo elemento. La ductilidad es una fuente importante de resistencia de reserva que permite que materiales como el acero se deformen considerablemente sin llegar a romperse, de tal forma que pueden disipar la energía de un terremoto.

Resistencia y rigidez
La resistencia es la capacidad de un elemento estructural para resistir una carga dada sin sobrepasar la tensión máxima admisible del material. La rigidez, por su parte, es una medida de la capacidad del elemento estructural para controlar la deformación y limitar la magnitud de su movimiento en condiciones de carga. Limitar el movimiento de esta forma ayuda a minimizar los posibles daños sobre los elementos no estructurales del edificio, como revestimientos, particiones, falsos techos y muebles, así como reducir las posibles incomodidades sobre los usuarios del edificio.



En general, hay tres mecanismos básicos que se utilizan habitualmente, de forma individual o combinada, para asegurar la estabilidad lateral de un edificio: los pórticos triangulados, los pórticos rígidos y los muros rigidizadores. Nótese que todos estos mecanismos de arriostramiento solo resultan efectivos frente a cargas laterales aplicadas en su mismo plano; no puede esperarse que resistan cargas laterales perpendiculares.



El mecanismo horizontal primario utilizado para distribuir las cargas laterales hacia los soportes verticales son los planos rígidos o diafragmas horizontales.

- Los diafragmas son elementos rígidos de forjado o cubierta capaces de transferir las cargas laterales hasta los soportes verticales. Utilizando la analogía de una viga de acero, el diafragma funciona como el alma de una viga horizontal, mientras que sus bordes funcionan como las alas. Aunque los diafragmas son habitualmente horizontales, también pueden ser curvos o inclinados, como ocurre a veces en las cubiertas.
- Los pórticos triangulados también pueden utilizarse para proporcionar resistencia frente a cargas laterales en estructuras de cubierta.

- Los pórticos triangulados están compuestos de elementos lineales de madera o acero, rigidizados mediante diversos sistemas de triangulación.

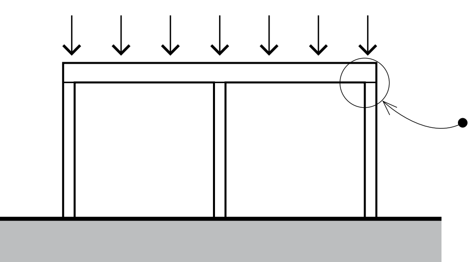
- Los pórticos rígidos están compuestos de elementos lineales de acero u hormigón armado, unidos mediante conexiones que impiden el giro de los extremos de cada barra. Las cargas aplicadas producen esfuerzos de axiales, cortantes y momentos de flexión en todos los elementos del pórtico.

- Los muros rigidizadores pueden ser de cualquiera de los sistemas de hormigón, fábrica, acero o madera capaces de actuar como una alta y delgada viga de canto que transfiera las cargas laterales a la cimentación.

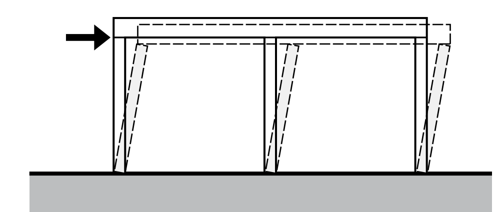
El diseño de los encuentros y el control de calidad sobre la ejecución de la estructura resultan muy importantes para garantizar la ductilidad y la amortiguación natural de los soportes verticales durante los seísmos de mayor importancia.

Pórticos triangulados
Los pórticos triangulados están compuestos por un entramado de pilares y vigas, rigidizado mediante un sistema de barras diagonales que crean configuraciones triangulares estables. Ejemplos de la gran variedad de sistemas triangulados son:

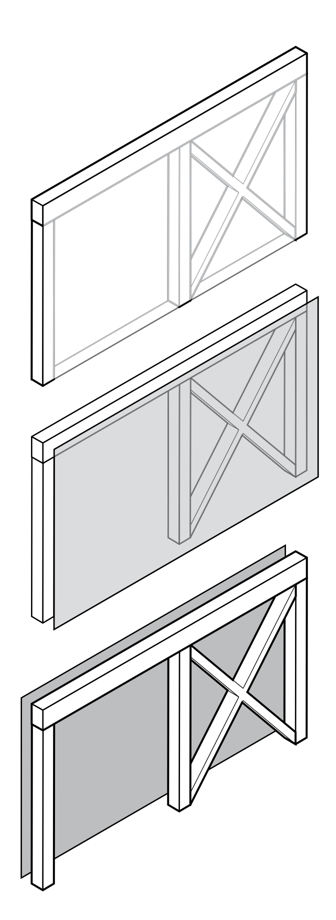
- Cartelas
- Diagonales
- Crucetas o diagonales cruzadas
- Diagonales en V
- Diagonales en K
- Arriostramiento excéntrico
- Arriostramiento de celosía

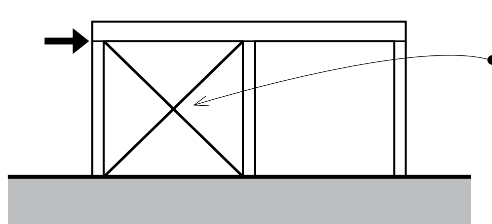


- En el típico entramado de pilares y vigas se supone que las distintas piezas mantienen uniones articuladas, o apoyos simples, que pueden soportar sin problema las cargas verticales.

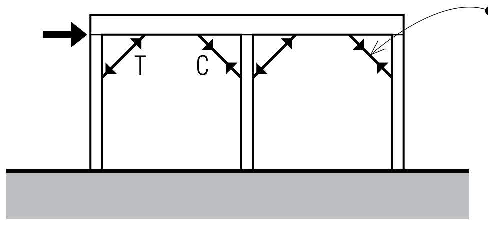


- No obstante, el entramado articulado en todos sus nudos es inestable por naturaleza, y no sería capaz de resistir una carga aplicada lateralmente.

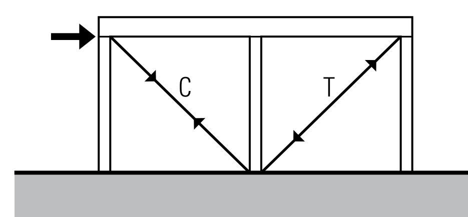




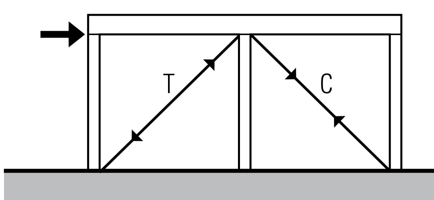
- La adición de un sistema de barras diagonales proporciona la estabilidad lateral requerida.



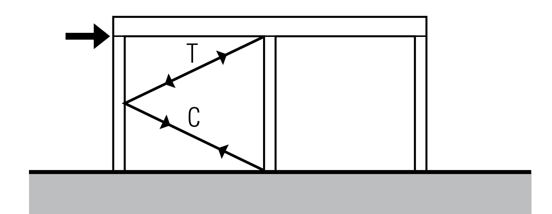
- Las cartelas proporcionan resistencia lateral mediante la creación de nudos relativamente rígidos en las uniones entre pilares y vigas gracias a la triangulación. Las cartelas, que son relativamente pequeñas en sus dimensiones, deben utilizarse de dos en dos para poder resistir las fuerzas laterales en ambos sentidos.



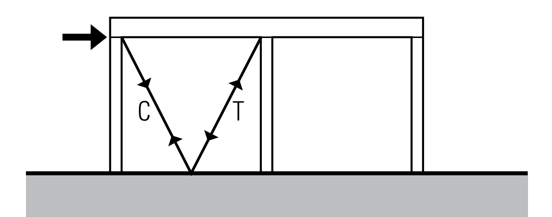
- Las barras diagonales sencillas deben ser capaces de soportar esfuerzos tanto de tracción como de compresión. Las dimensiones de estas barras diagonales vienen determinadas básicamente por su resistencia al pandeo asociado a la compresión, que, a su vez, dependen de la longitud libre de la barra.



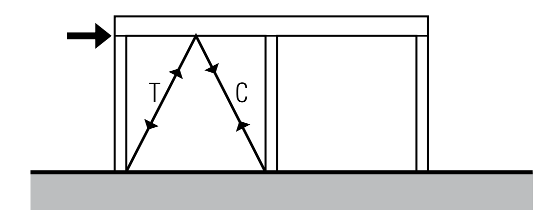
Las barras diagonales pueden estar situadas internamente dentro de un edificio para arriostrar un núcleo o un plano principal de soporte, o en el plano de cerramientos exteriores. Pueden quedar ocultas dentro de muros o particiones o quedar a la vista, en cuyo caso se logra una expresión intensa de la estructura.



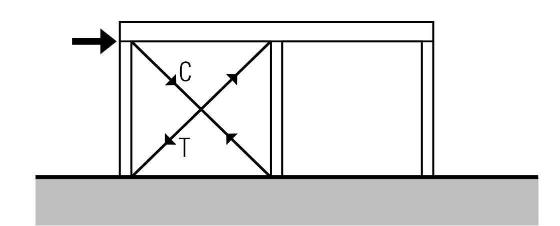
- Las diagonales en K son un par de barras diagonales que se encuentran en las proximidades del punto medio de un soporte vertical. Cada barra diagonal puede estar sometida a tracción o compresión, dependiendo del sentido de la carga lateral aplicada sobre el entramado.



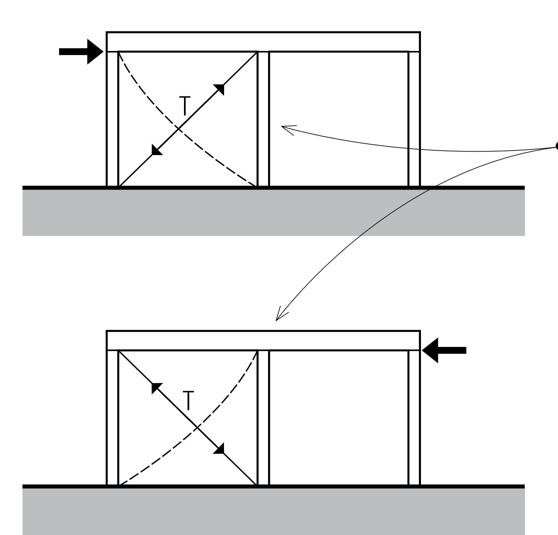
- Las diagonales en V son un par de barras diagonales que se encuentran en las proximidades del punto medio de un elemento horizontal del entramado. Como en el caso de las diagonales en V, cada barra puede estar sometida a tracción o compresión dependiendo del sentido de la carga lateral.



- Las diagonales tipo Chevron son similares a la diagonales en V, pero su orientación permite el paso por debajo de la V invertida.



- Las crucetas o diagonales cruzadas son un par de diagonales que, al igual que en los casos anteriores, pueden estar sometidas a tracción o compresión, dependiendo del sentido de la carga lateral. En este caso se logra cierta redundancia, ya que cualquiera de las barras puede conseguir la estabilidad del entramado por sí misma.

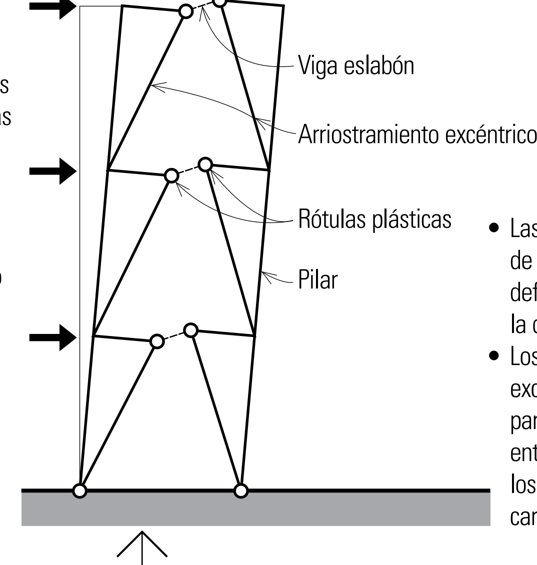


- Los sistemas de arriostramiento basados en cables solo pueden trabajar a tracción. Para estabilizar el entramado, se disponen un par de cables que trabajarán alternativamente según el sentido de la carga lateral aplicada, de forma que mientras un cable trabaja a tracción el otro quedará destensado y no transmitirá ninguna carga.

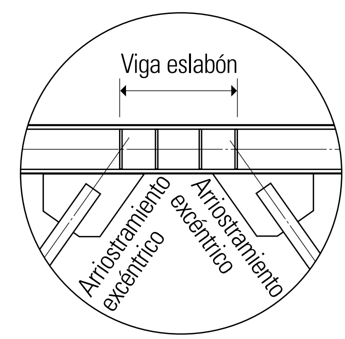
Arriostramiento excéntrico

Los pórticos con arriostramiento excéntrico combinan la resistencia y la rigidez de los pórticos triangulados con el comportamiento inelástico (plástico) y la disipación de energía propios de los pórticos de nudos rígidos. Esta solución dispone barras diagonales que se conectan al pórtico en puntos separados de las vigas o jácenas, estableciendo vigas cortas o eslabón entre barras diagonales y pilares o entre dos diagonales opuestas. Estas vigas cortas actúan como fusibles que limitan la magnitud de las cargas ejercidas sobre otros elementos del entramado, evitando un sobreesfuerzo en las mismas.

La magnitud previsible de las cargas sísmicas y la naturaleza conservadora de las normativas hacen necesario asumir cierta deformación de la estructura durante los grandes terremotos. Sin embargo, en las zonas de riesgo sísmico elevado, el diseño de un edificio con un comportamiento completamente elástico durante un gran terremoto implicaría unos costes prohibitivos. Debido a que los entramados de acero tienen la ductilidad necesaria para disipar grandes cantidades de energía sísmica manteniendo la estabilidad incluso bajo grandes deformaciones inelásticas, los pórticos de acero con arriostramiento excéntrico se utilizan habitualmente en zonas de alta actividad sísmica. Estos pórticos también proporcionan la rigidez necesaria para reducir el balanceo producido por las cargas de viento.



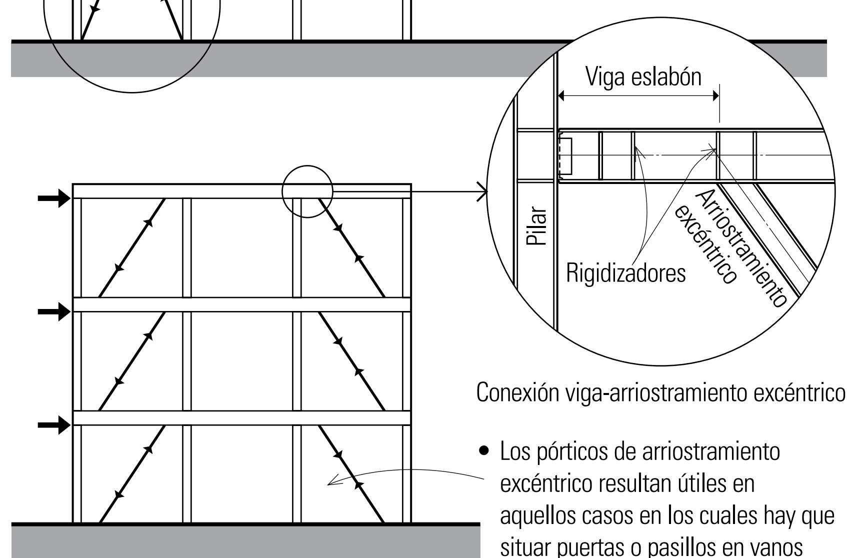
- Las vigas eslabón absorben energía de la actividad sísmica a través de una deformación plástica previa a la deformación de otros elementos.
- Los pórticos con arriostramiento excéntrico también pueden diseñarse para controlar las deformaciones del entramado y minimizar los daños a los elementos arquitectónicos durante cargas sísmicas cíclicas.



Viga eslabón
Arriostramiento excéntrico

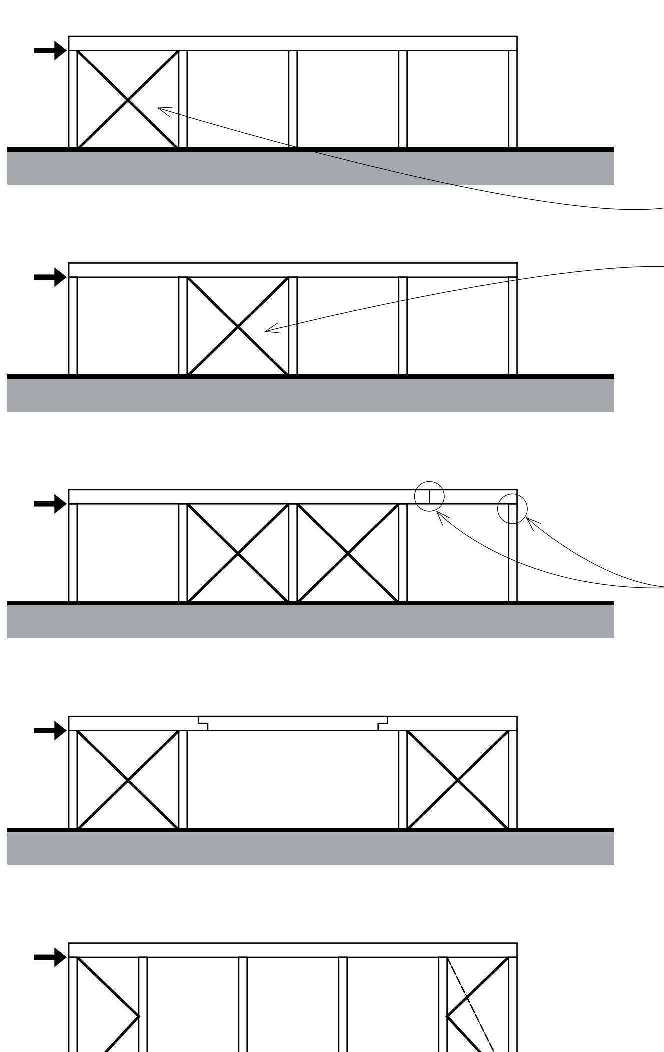
- El acero es el material ideal para construir un pórtico con arriostramiento excéntrico, debido a su ductilidad —capacidad de deformarse sin llegar a fracturarse— combinada con su resistencia.

- Los pórticos con arriostramiento excéntrico por lo general se sitúan en los planos exteriores de una estructura, pero también se utilizan en ocasiones para rigidizar núcleos de entramado de acero.



Conexión viga-arriostramiento excéntrico

- Los pórticos de arriostramiento excéntrico resultan útiles en aquellos casos en los cuales hay que situar puertas o pasillos en vanos triangulados.



Arriostramiento en varios vanos
El arriostramiento lateral puede disponerse en varios vanos de la estructura, en función de las cargas laterales que haya que resistir; en estos casos tampoco es imprescindible que todos los vanos se encuentren arriostrados.

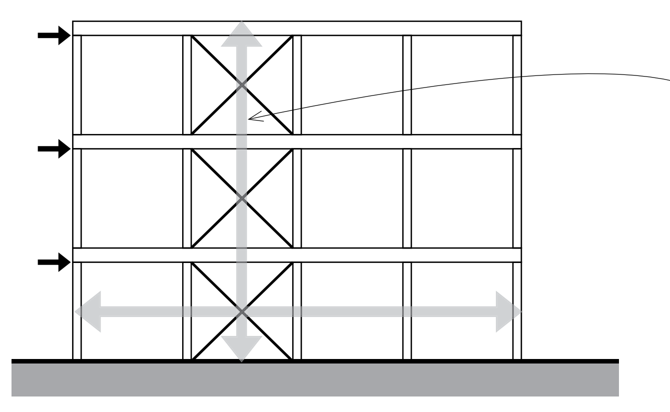
- Una regla práctica de aplicación general consiste en triangular uno de cada tres o cuatro vanos.
- Un vano interior puede estar triangulado para proporcionar estabilidad al resto de los vanos.

- Según se triangula un número mayor de vanos, se reduce la sección necesaria para las barras de arriostramiento, al tiempo que aumenta la rigidez lateral del pórtico, reduciendo el desplazamiento lateral.

- Se pueden triangular dos vanos interiores para proporcionar estabilidad lateral a los vanos exteriores.
- La viga del pórtico triangulado en varios vanos no necesita ser continua. Por ejemplo, estos nudos articulados no afectan negativamente a la estabilidad del pórtico.

- Se pueden triangular dos vanos exteriores para proporcionar un vano interior diáfano con estabilidad lateral. Las dos vigas voladas soportan una viga biapoyada.

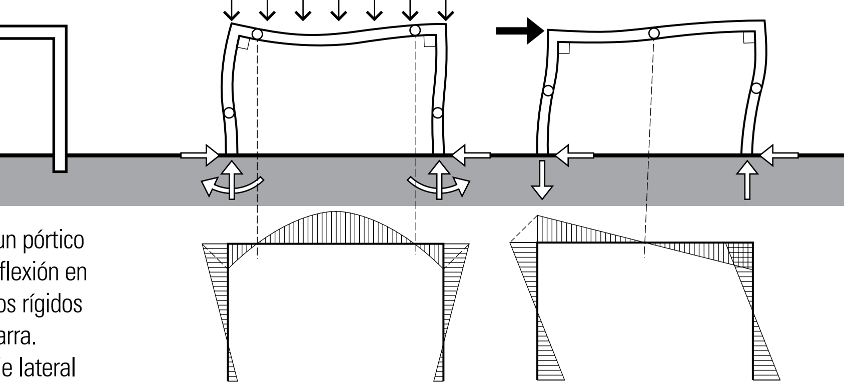
- Cuando las proporciones del vano suponen una inclinación excesiva o demasiado escasa para las diagonales, es necesario plantearse otras formas de triangulación para garantizar un arriostramiento eficaz.



- Aunque no es necesario que todos los vanos de una planta estén arriostrados, sí resulta crítico que todas las plantas de un edificio lo estén. En este caso, los vanos triangulados actúan como una cercha vertical.

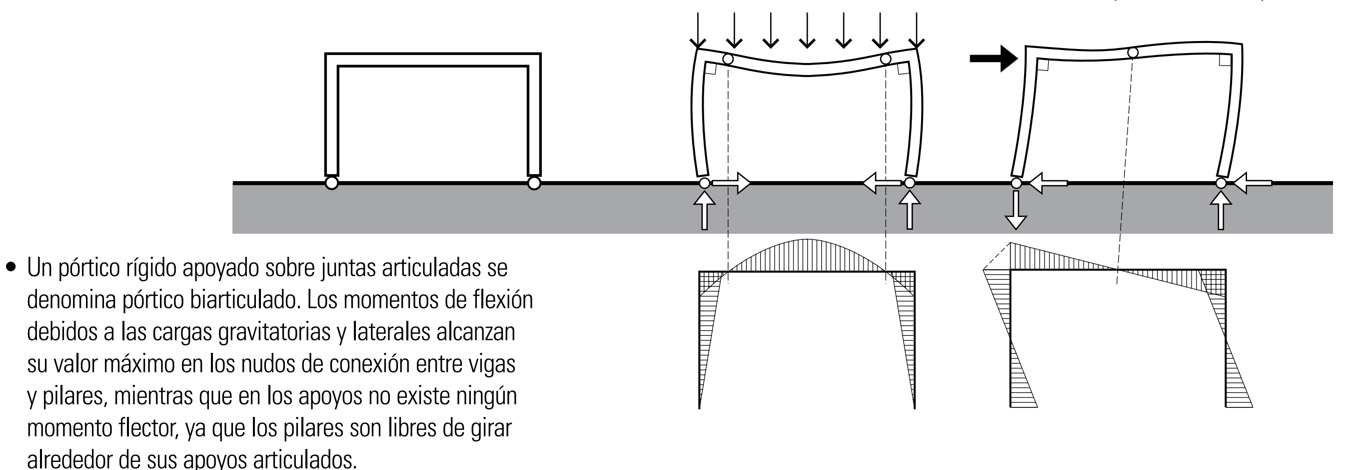
- Nótese que en todos estos ejemplos podrían utilizarse nudos rígidos o muros rigidizadores en lugar de las triangulaciones.

Pórticos rígidos
Los pórticos rígidos, o pórticos resistentes a momentos, están compuestos por elementos horizontales y verticales, vigas y pilares, unidos mediante conexiones o nudos rígidos o semirrígidos. La resistencia y la rigidez de un pórtico es proporcional a la sección de cada una de las barras e inversamente proporcional a la longitud de las mismas. Los pórticos rígidos requieren vigas y pilares considerablemente más gruesos, en especial en las plantas inferiores de estructuras en altura.

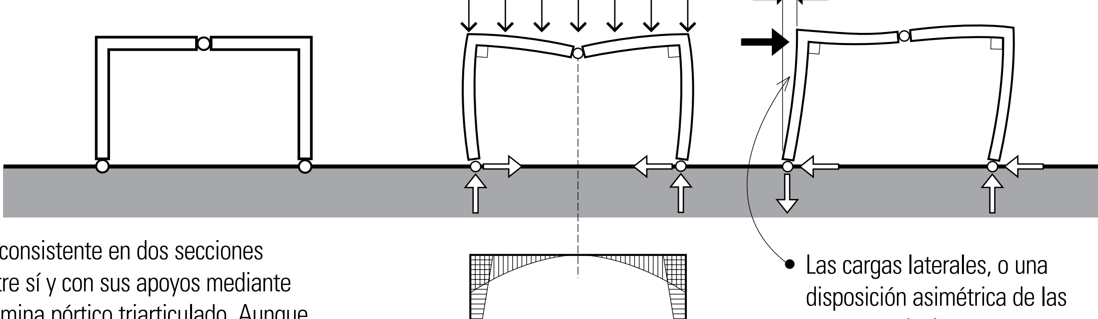


- Las cargas verticales y laterales aplicadas sobre un pórtico rígido producen esfuerzos axiales, cortantes y de flexión en todas las barras del pórtico, en tanto que los nudos rígidos restringen el giro libre de los extremos de cada barra. Además, las cargas verticales producen un empuje lateral en la base del pórtico. Un pórtico rígido está indeterminado estáticamente y es rígido solo en su propio plano.

- Todos los componentes de un pórtico rígido son en la práctica vigas-pilares, sometidas a esfuerzos combinados de flexión y tracción o compresión.

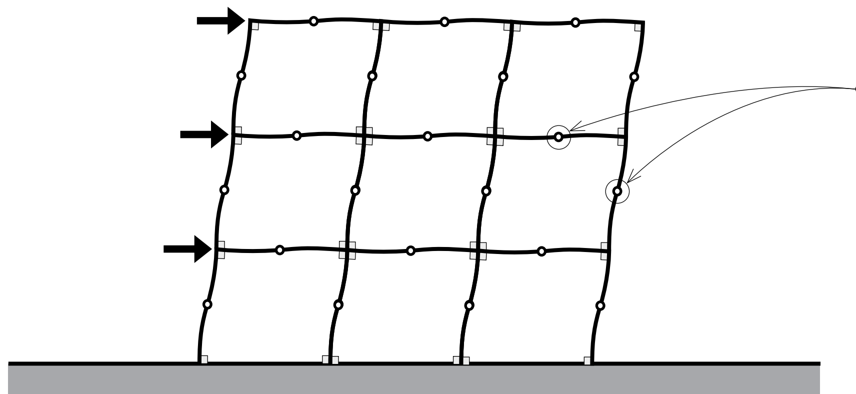


- Un pórtico rígido apoyado sobre juntas articuladas se denomina pórtico biarticulado. Los momentos de flexión debidos a las cargas gravitatorias y laterales alcanzan su valor máximo en los nudos de conexión entre vigas y pilares, mientras que en los apoyos no existe ningún momento flector, ya que los pilares son libres de girar alrededor de sus apoyos articulados.

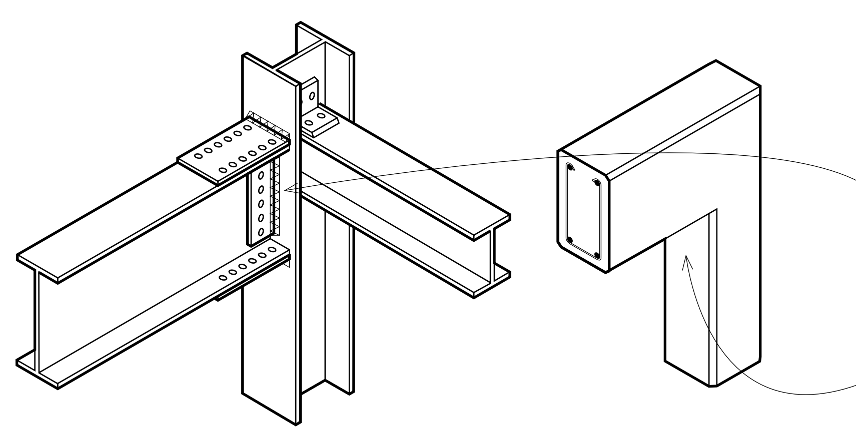


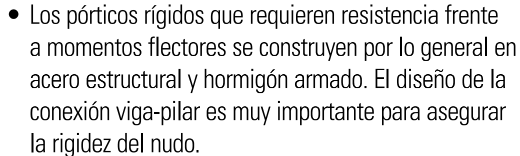
- Un pórtico estructural consistente en dos secciones rígidas conectadas entre sí y con sus apoyos mediante articulaciones se denomina pórtico triarticulado. Aunque esta solución es más sensible a las deformaciones que los pórticos rígidos o biarticulados, los pórticos triarticulados permiten utilizar piezas prefabricadas con conexiones articuladas relativamente simples.

- Las cargas laterales, o una disposición asimétrica de las cargas verticales, provocan un desplazamiento lateral de los nudos del pórtico.

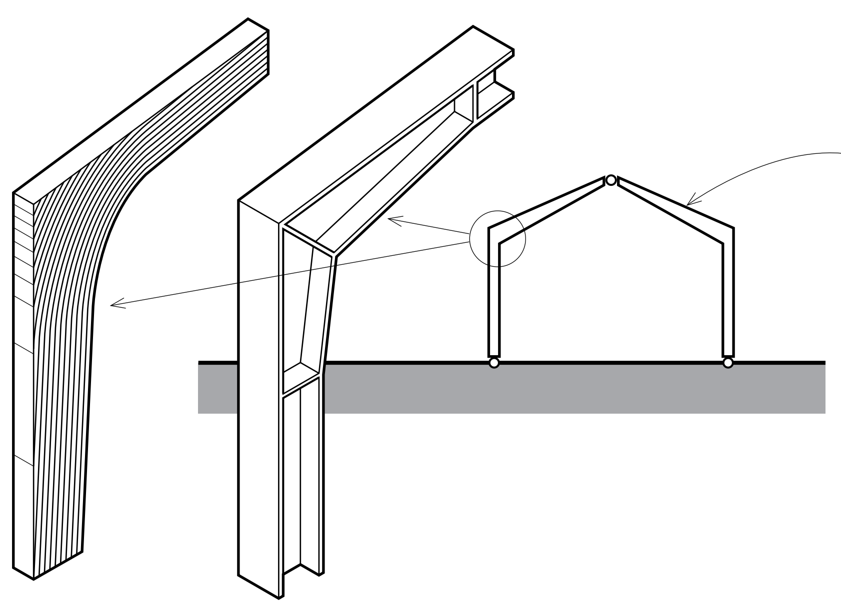


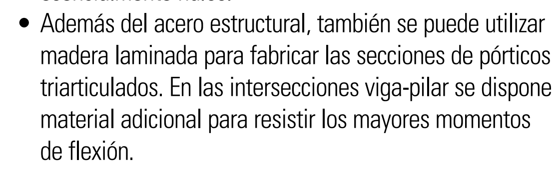
- Los pórticos rígidos de varias plantas desarrollan puntos de inflexión (articulaciones internas) cuando reciben cargas laterales. Estas articulaciones teóricas, donde no existen momentos de flexión, ayudan a definir las localizaciones de las juntas de acero o la estrategia para distribuir la armadura del hormigón armado.





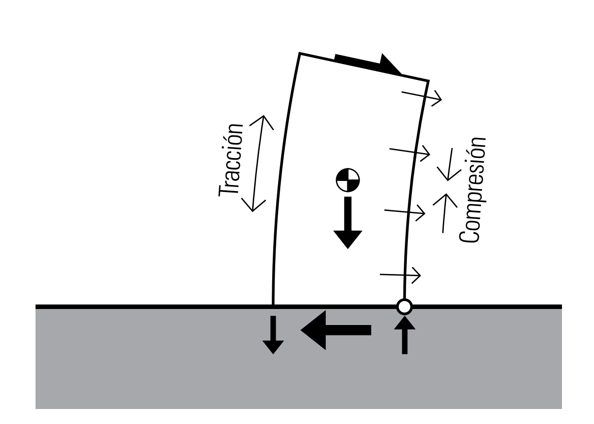
- Los pórticos rígidos que requieren resistencia frente a momentos flectores se construyen por lo general en acero estructural y hormigón armado. El diseño de la conexión viga-pilar es muy importante para asegurar la rigidez del nudo.
- Las vigas y los pilares de acero estructural pueden conectarse para proporcionar nudos rígidos por medio de soldaduras, tornillos de alta resistencia o una combinación de ambos. Los pórticos rígidos de acero proporcionan un sistema dúctil capaz de resistir las cargas sísmicas una vez superados los límites elásticos del sistema estructural.
- Los pórticos rígidos de hormigón armado pueden estar compuestos de vigas y pilares, losas planas sobre pilares o losas planas sobre muros de carga. La continuidad inherente que se consigue con la ejecución monolítica del hormigón proporciona nudos rígidos por naturaleza, que permiten que los distintos componentes presenten voladizos sin necesidad de recurrir a detalles constructivos complejos.





- Los pórticos triarticulados pueden construirse con secciones inclinadas para constituir cubiertas. Su respuesta estructural básica es similar a la versión plana. La sección de los elementos es a menudo indicativa de la magnitud relativa del momento flector, especialmente en la unión viga-pilar. Las secciones transversales se reducen en las juntas articuladas, ya que los momentos flectores en las mismas son esencialmente nulos.
- Además del acero estructural, también se puede utilizar madera laminada para fabricar las secciones de pórticos triarticulados. En las intersecciones viga-pilar se dispone material adicional para resistir los mayores momentos de flexión.

Muros rigidizadores
Los muros rigidizadores, o muros de cortante, son planos verticales rígidos relativamente delgados y largos.
Un muro rigidizador puede considerarse análogo a una viga de canto vertical apoyada sobre un extremo y sometida a un esfuerzo cortante concentrado procedente del forjado o planta superior.



El muro rigidizador alcanza el equilibrio gracias a su peso propio, que compensa el par de fuerzas generado por la tracción y la compresión en los bordes o las esquinas del muro.

Los muros rigidizadores pueden construirse con:

- Hormigón armado ejecutado in situ
- Hormigón armado en piezas prefabricadas
- Fábrica armada
- Entramado ligero reforzado con paneles estructurales, como tableros contrachapados, tableros de fibra orientada (OSB) o tablones dispuestos en diagonal.

Generalmente se realizan pocas aberturas o perforaciones en los muros de arriostramiento. Si un muro rigidizador presenta perforaciones regulares, su comportamiento estructural será una combinación entre muro rigidizador y pórtico rígido.

Forjado

- Rótula de vuelco del muro

Esfuerzo cortante procedente del forjado

- Borde del forjado

Muro rigidizador

- Esfuerzo de compresión

Reacción de cortante

- Reacción de anclaje o atado
- Se pueden necesitar anclajes especiales para resistir los esfuerzos de tracción que tienden a levantar y volcar el muro, y que son consecuencia del esfuerzo cortante transmitido desde el forjado.

Hormigón armado

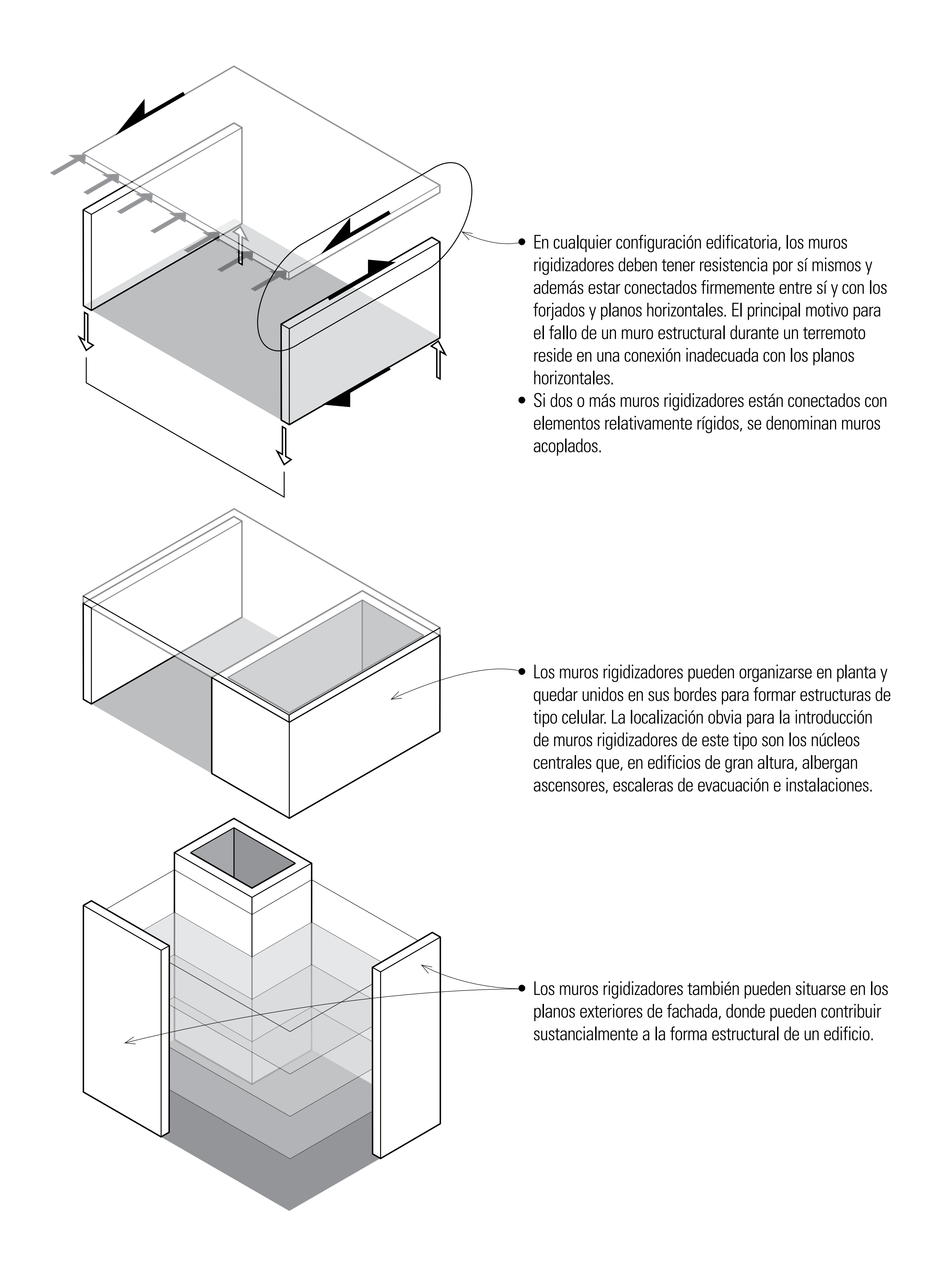
Muro de fábrica

Fijación mediante clavos perimetrales e intermedios

Paneles estructurales de madera

Fijaciones y pernos de anclaje

Muro de entramado ligero



- En cualquier configuración edificatoria, los muros rigidizadores deben tener resistencia por sí mismos y además estar conectados firmemente entre sí y con los forjados y planos horizontales. El principal motivo para el fallo de un muro estructural durante un terremoto reside en una conexión inadecuada con los planos horizontales.
- Si dos o más muros rigidizadores están conectados con elementos relativamente rígidos, se denominan muros acoplados.

- Los muros rigidizadores pueden organizarse en planta y quedar unidos en sus bordes para formar estructuras de tipo celular. La localización obvia para la introducción de muros rigidizadores de este tipo son los núcleos centrales que, en edificios de gran altura, albergan ascensores, escaleras de evacuación e instalaciones.

- Los muros rigidizadores también pueden situarse en los planos exteriores de fachada, donde pueden contribuir sustancialmente a la forma estructural de un edificio.

Diafragmas

Para resistir las cargas laterales, los edificios deben incorporar elementos resistentes tanto horizontales como verticales. Los elementos verticales utilizados para transferir las cargas laterales al terreno son los pórticos triangulados, los pórticos rígidos y los muros rigidizadores. Los principales elementos horizontales empleados para distribuir las cargas laterales a estos elementos verticales son los forjados o diafragmas, planos rígidos horizontales, o sistemas horizontales de triangulación.

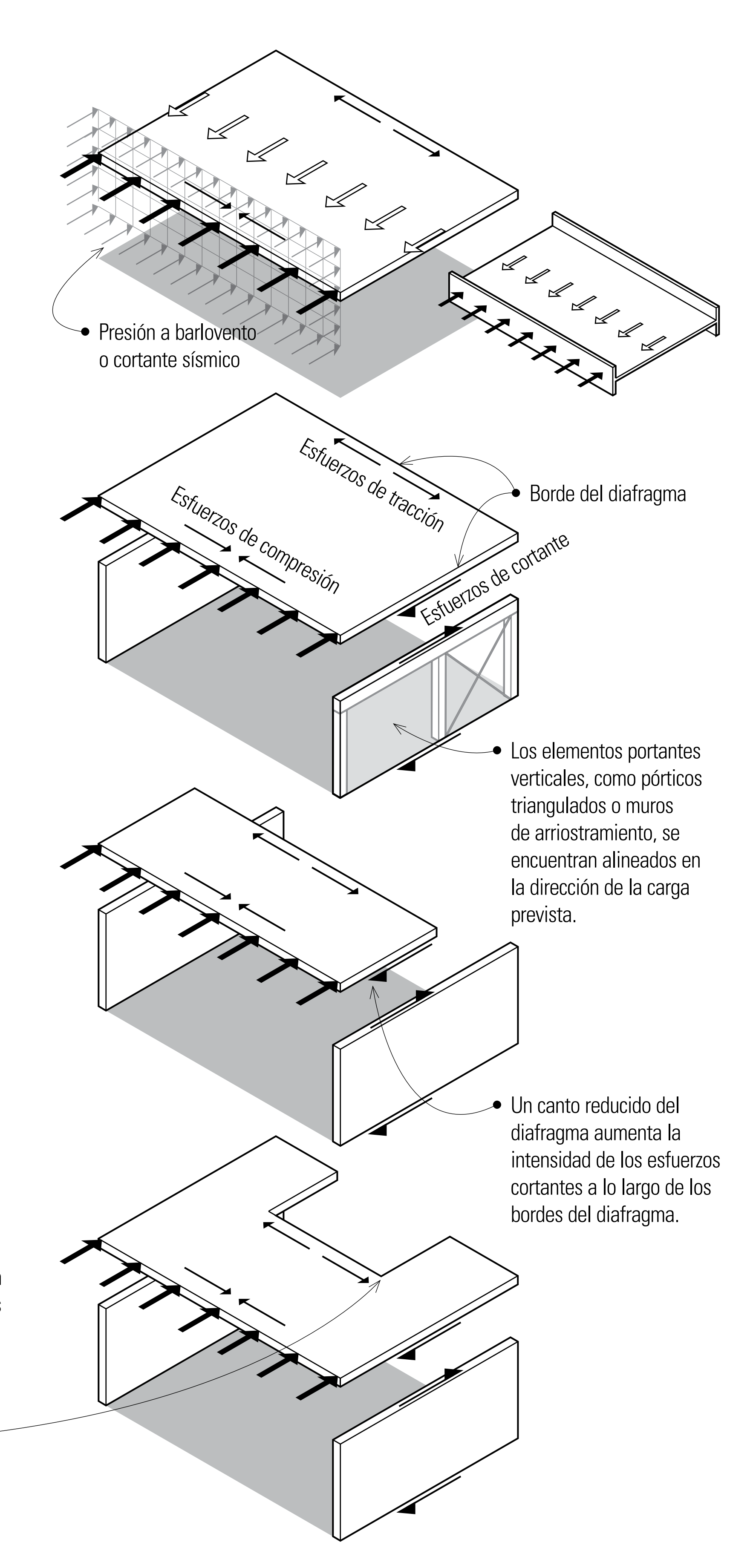
Los diafragmas son estructuras de forjado o cubierta que presentan la capacidad de transferir las cargas laterales sísmicas o de viento a los elementos portantes verticales. Recurriendo a la analogía con una viga de acero, los diafragmas actúan como una viga de canto en la cual el propio diafragma ejerce de alma mientras sus bordes actúan como alas. Aunque los diafragmas son por lo general horizontales, también pueden ser inclinados o abovedados, como ocurre con frecuencia en el caso de las cubiertas.

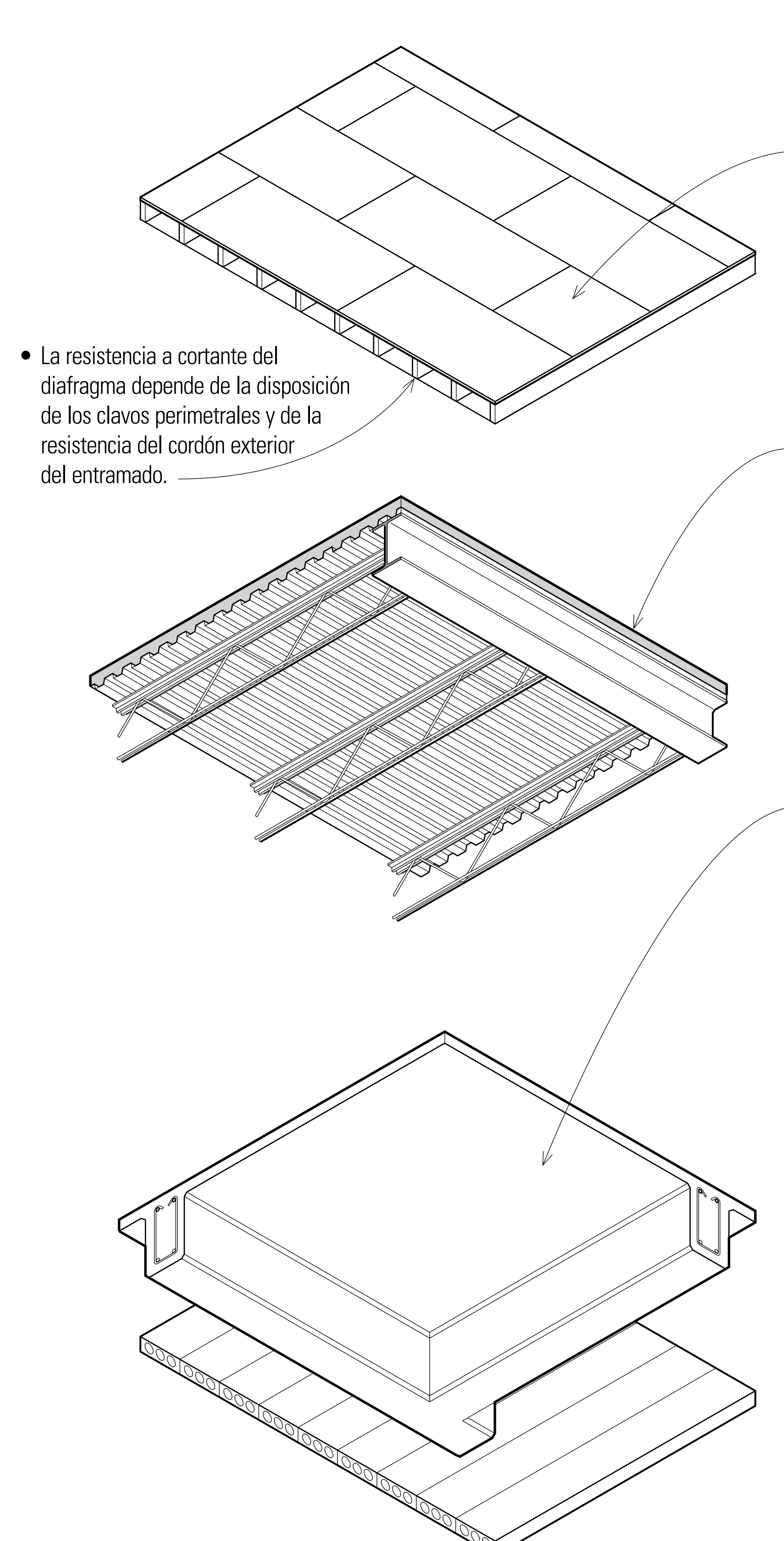
Los diafragmas estructurales presentan generalmente una resistencia y una rigidez considerables en su propio plano. Aunque los forjados y las cubiertas presenten cierta flexibilidad para caminar sobre ellos, son extremadamente rígidos dentro de su propio plano. Esta rigidez y resistencia características permite atar los pilares y muros en cada planta, y proporcionar resistencia lateral a aquellos elementos que requieran arriostramiento.

Los diafragmas pueden clasificarse en rígidos o flexibles. Esta distinción es importante porque afecta significativamente a la distribución de las cargas laterales desde el diafragma hacia los elementos portantes verticales. Se consideran diafragmas rígidos las losas de hormigón, los forjados colaborantes de chapa metálica y algunos forjados metálicos construidos con perfiles de gran sección.

Si un diafragma es flexible, las deformaciones dentro del plano pueden ser importantes y la distribución de la carga a los soportes verticales viene determinada por la carga que asume efectivamente cada fracción del diafragma. Los forjados de madera y de perfiles ligeros de acero sin cobertura o relleno de hormigón se consideran diafragmas flexibles.

Según su tamaño y localización, los huecos y perforaciones pueden debilitar de manera crítica los diafragmas de forjado o cubierta. Los esfuerzos de tracción y compresión que se producen en el perímetro y los bordes del diafragma pueden verse aumentados si su canto total se ve reducido. Debe prestarse especial atención al diseño de aquellos puntos donde puedan producirse concentraciones de tensiones, especialmente en las esquinas entrantes.





Los diafragmas de forjado y cubierta pueden construirse de madera, metal u hormigón.

Entramado ligero con tablero rigidizador

- En la construcción de entramados ligeros, los diafragmas están compuestos de tablero de madera, como los contrachapados, formando un revestimiento sobre el entramado de madera o perfiles ligeros de acero. El revestimiento actúa como el alma de una viga de acero, mientras que los elementos de borde del entramado del forjado o la cubierta resisten los esfuerzos de tracción y compresión como las alas.

Forjado de chapa metálica

- Los forjados de chapa colaborante pueden funcionar como diafragmas con gran eficacia. El hormigón proporciona la rigidez mientras que la chapa metálica y cualquier otro refuerzo de acero del hormigón proporcionan la resistencia a tracción. Un requisito clave reside en la conexión adecuada de todos los elementos.
- Las cubiertas de chapa metálica sin recubrimiento de hormigón pueden funcionar como diafragmas, pero resultan considerablemente más flexibles y débiles que los forjados de chapa colaborante.

Losas de hormigón

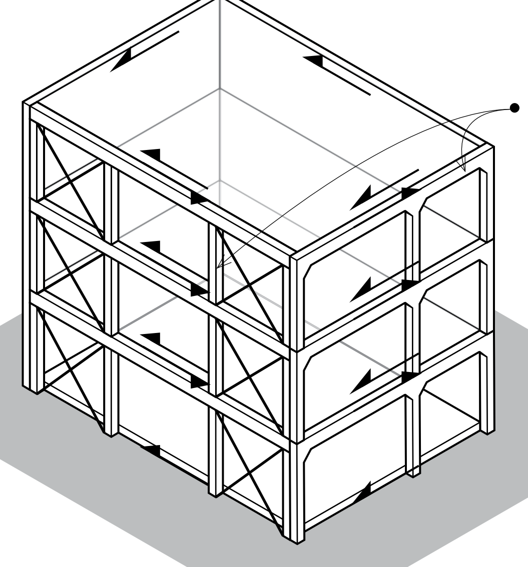
- Las losas de hormigón armado in situ actúan como un conjunto integrado de diafragmas; disponen de los refuerzos de acero allí donde se necesiten para distribuir las cargas y para asumir las concentraciones de esfuerzos producidas en los bordes, con ayuda de las vigas en caso de que existan. El armado continuo propio de las losas monolíticas de hormigón de forjados y cubiertas proporciona un atado efectivo de toda la estructura del edificio.
- Cuando las losas de hormigón realizan la función de diafragmas en edificios de entramado de acero, debe proporcionarse una conexión adecuada entre las losas y el entramado estructural, para estabilizar el ala comprimida de las vigas de acero, así como para facilitar la transferencia de los esfuerzos del diafragma hacia el entramado de acero. Esto generalmente se logra encamisando las vigas de acero con hormigón o disponiendo conectores soldados sobre las alas superiores de las vigas de acero.
- Los forjados y cubiertas de elementos prefabricados de hormigón suponen mayores desafíos a la hora de construir diafragmas estructurales eficaces. Cuando las tensiones soportadas por el diafragma sean elevadas, puede disponerse una capa de compresión de hormigón in situ sobre las piezas prefabricadas. En caso de no contar con la capa de compresión, las piezas prefabricadas deben unirse mediante conectores adecuados que transmitan los esfuerzos de tracción, compresión y cortante a través de los bordes de las piezas. Estos conectores generalmente consisten en pletinas o barras soldadas de acero insertadas en paneles adyacentes.

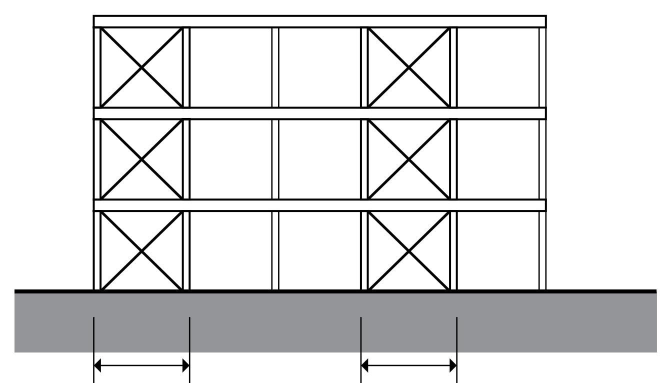
Los edificios son estructuras tridimensionales, no una simple colección de planos bidimensionales. Su estabilidad geométrica depende de una composición tridimensional de diafragmas horizontales y elementos portantes verticales, distribuidos e interconectados para que trabajen solidariamente y resistan las cargas laterales que pueden proceder de cualquier dirección. Por ejemplo, cuando el edificio tiembla durante un terremoto, las fuerzas inerciales generadas deben transmitirse a través de la estructura hasta los cimientos, mediante un sistema de arriostramiento tridimensional.

Es importante comprender cómo operan los sistemas de arriostramiento, porque puede tener un impacto significativo en la forma de un edificio. Las decisiones que se tomen en relación con el tipo y la localización de los elementos de arriostramiento afectan a la organización del edificio y a su apariencia definitiva.

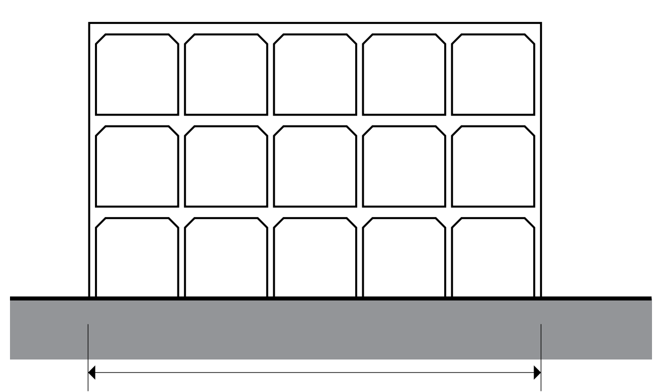
- Cargas verticales gravitatorias
- Cargas laterales, sísmicas o de viento, procedentes de cualquier dirección horizontal
- Los diafragmas de forjado y cubierta deben tener la suficiente resistencia y rigidez como para transferir las cargas laterales aplicadas a los planos verticales de arriostramiento.
- Una vez configurados los planos de forjado y de cubierta para actuar como diafragmas, un requisito mínimo para estabilizar una estructura consiste en la disposición de tres planos verticales de arriostramiento que no sean ni paralelos ni concurrentes en un único punto (véase pág. 210). Es habitual disponer más de tres planos verticales de arriostramiento, con lo cual se aumenta la rigidez de la estructura y su capacidad para resistir desplazamientos laterales.
- En muchos casos, los elementos portantes verticales (pilares y muros de carga) pueden también formar parte integral del sistema de arriostramiento vertical.

- Los planos de arriostramiento pueden ser una combinación de pórticos triangulados, pórticos rígidos o muros rigidizadores. Por ejemplo, los muros rigidizadores pueden resistir cargas laterales en una dirección, mientras que los pórticos triangulados realizan una función similar en otra dirección. Puede verse una comparativa entre estos elementos verticales de arriostramiento en la página siguiente.

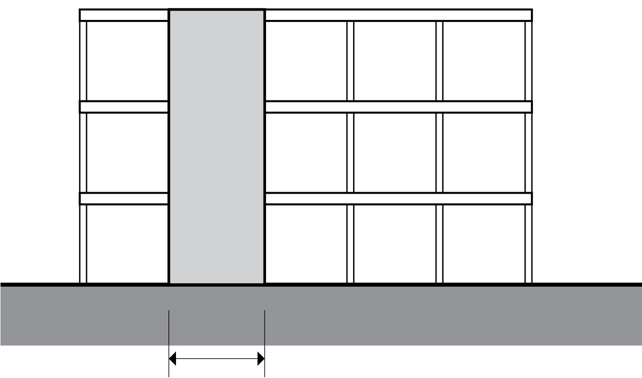




• Al menos un 25 % de los vanos deberían estar triangulados.



• Todos los nudos del entramado deberían ser rígidos.



• Los muros rigidizadores deberían ocupar un 20-25 % del número total de vanos.

El arriostramiento vertical de un edificio puede obtenerse mediante pórticos triangulados, pórticos rígidos o muros rigidizadores, o una combinación de los mismos. No obstante, estos mecanismos verticales de arriostramiento no son equivalentes en términos de rigidez y eficiencia. En algunos casos solo es necesario estabilizar una parte limitada del entramado estructural. A la izquierda se ilustran las longitudes relativas necesarias para estabilizar un entramado de cinco vanos con los diversos tipos de mecanismos de arriostramiento.

Pórticos triangulados

- Los pórticos triangulados presentan una resistencia y una rigidez elevadas y resultan más eficaces que los rígidos frente a la distorsión angular.
- Los pórticos triangulados utilizan menos material y emplean conexiones más simples que los rígidos.
- Admiten alturas menores entre plantas que los pórticos rígidos.
- Los pórticos triangulados pueden convertirse en un componente importante del diseño. Pero, por otra parte, las barras diagonales puede interrumpir el paso entre espacios adyacentes.

Pórticos rígidos

- Los pórticos rígidos ofrecen la máxima flexibilidad para la continuidad física y visual entre espacios adyacentes.
- Si las conexiones se diseñan adecuadamente, los pórticos rígidos pueden ofrecer bastante ductilidad.
- Los pórticos rígidos son menos eficientes que los pórticos triangulados y los muros rigidizadores.
- Los pórticos rígidos requieren más material y mayor mano de obra en la ejecución que los pórticos triangulados.
- Las grandes deformaciones producidas durante un terremoto pueden ocasionar daños en elementos no estructurales del edificio.

Muros rigidizadores

- Los muros de fábrica o de hormigón armado pueden absorber energía de forma eficaz siempre que estén adecuadamente conectados con los diafragmas de forjados y cubierta.
- Los muros rigidizadores pueden dimensionarse para reducir las deformaciones laterales y los esfuerzos de cortante hasta grados admisibles.

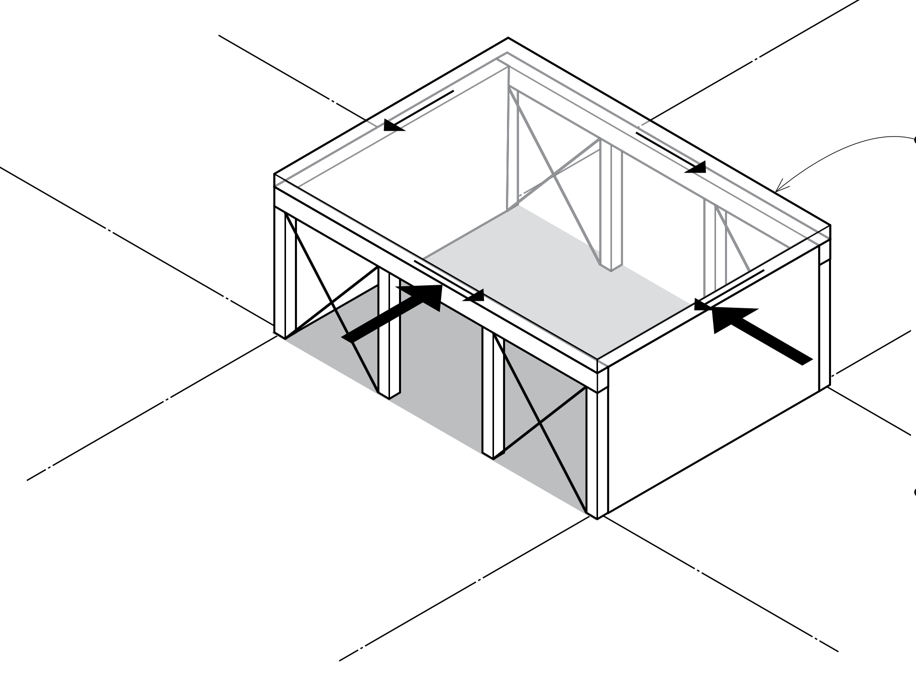
Configuración del edificio
La configuración del edificio se refiere a la composición tridimensional de los mecanismos de arriostramiento en una estructura. Las decisiones relacionadas con la localización y la disposición de estos mecanismos, así como su forma y tamaño, tienen una influencia significativa en el rendimiento de una estructura, especialmente cuando está sometida a las cargas sísmicas producidas por un terremoto.

Configuraciones regulares
Las normas técnicas modelan las cargas sísmicas asumiendo una configuración regular de los sistemas resistentes, que proporcionan una respuesta equilibrada a una distribución también equilibrada de las cargas laterales. Además, las configuraciones regulares se caracterizan generalmente por plantas simétricas, luces cortas, redundancia, resistencia equilibrada, máxima resistencia a torsión y recorridos de carga directos.

Las configuraciones irregulares, como aquellas que presentan diafragmas discontinuos o plantas en L o T, pueden desarrollar grandes concentraciones de tensiones y movimientos de torsión muy difíciles de contrarrestar. Véase pág. 208.

- Cabe recordar que los elementos verticales de arriostramiento (pórticos triangulados, pórticos rígidos y muros rigidizadores) solo son eficaces frente a cargas producidas en su mismo plano.

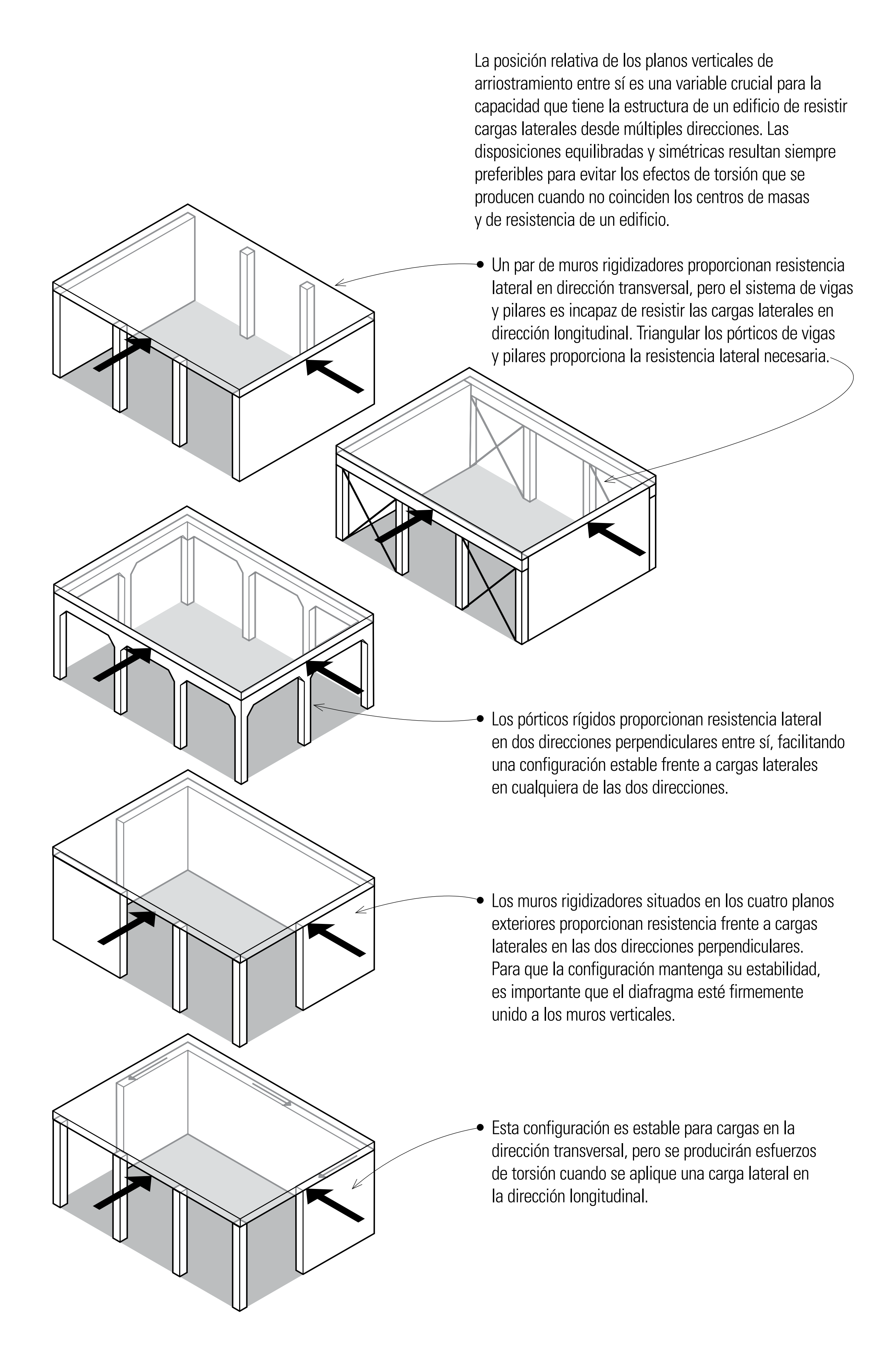
- Debe haber un mínimo de tres planos verticales de arriostramiento que trabajen conjuntamente con los diafragmas de forjados y cubierta para resistir adecuadamente las cargas gravitatorias y las laterales de dos direcciones ortogonales.



- Una buena solución consiste en disponer dos planos de arriostramiento paralelos entre sí y situados a una distancia razonable, para proporcionar resistencia lateral en una dirección, y un tercer plano de arriostramiento en un plano perpendicular. Esta disposición permite resolver el problema de la estabilidad como elementos de arriostramiento más pequeños y ligeros.

- En las fases iniciales de un proyecto es más importante determinar el patrón tridimensional de los elementos de arriostramiento (y su potencial impacto en la organización espacial y la composición formal), que identificar los tipos específicos de arriostramiento que hay que emplear.

La posición relativa de los planos verticales de arriostramiento entre sí es una variable crucial para la capacidad que tiene la estructura de un edificio de resistir cargas laterales desde múltiples direcciones. Las disposiciones equilibradas y simétricas resultan siempre preferibles para evitar los efectos de torsión que se producen cuando no coinciden los centros de masas y de resistencia de un edificio.



- Un par de muros rigidizadores proporcionan resistencia lateral en dirección transversal, pero el sistema de vigas y pilares es incapaz de resistir las cargas laterales en dirección longitudinal. Triangular los pórticos de vigas y pilares proporciona la resistencia lateral necesaria.

- Los pórticos rígidos proporcionan resistencia lateral en dos direcciones perpendiculares entre sí, facilitando una configuración estable frente a cargas laterales en cualquiera de las dos direcciones.

- Los muros rigidizadores situados en los cuatro planos exteriores proporcionan resistencia frente a cargas laterales en las dos direcciones perpendiculares. Para que la configuración mantenga su estabilidad, es importante que el diafragma esté firmemente unido a los muros verticales.

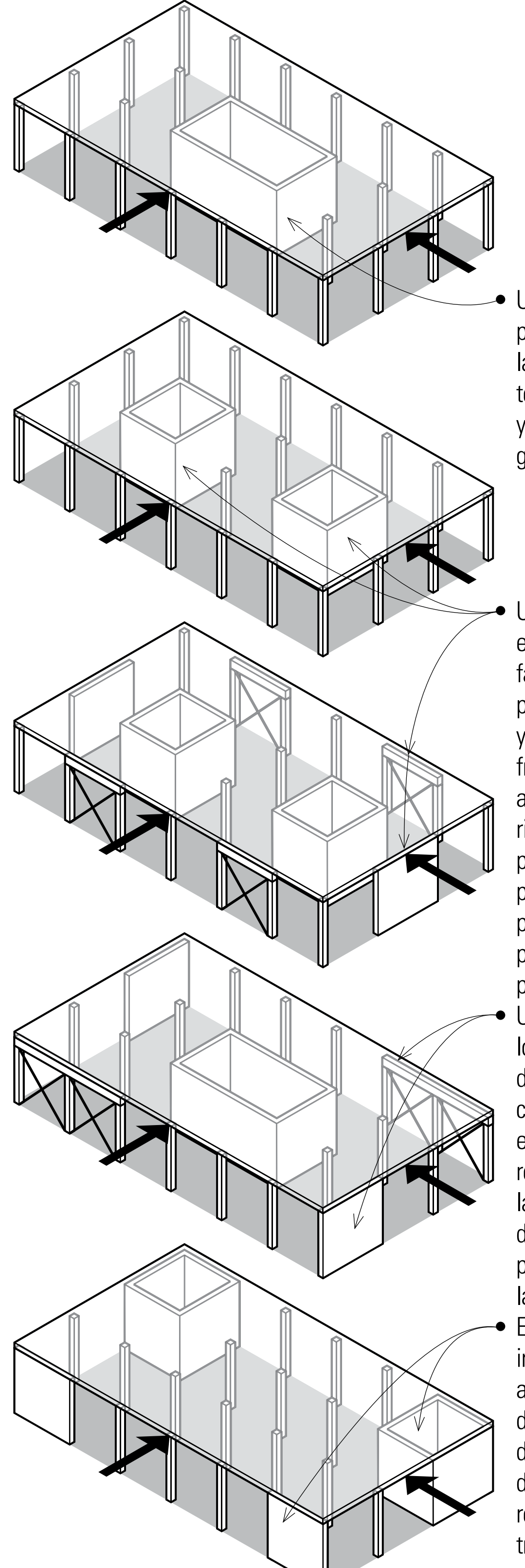
- Esta configuración es estable para cargas en la dirección transversal, pero se producirán esfuerzos de torsión cuando se aplique una carga lateral en la dirección longitudinal.

La página anterior ilustra configuraciones estables para estructuras de escala relativamente reducida. En edificios de mayor escala resulta más importante incluso que los elementos de arriostramiento se sitúen estratégicamente para resistir cargas laterales procedentes de cualquier dirección, y minimizar los potenciales momentos y desplazamientos debidos a la torsión. En edificios de múltiples plantas, con una retícula estructural cuadrada o rectangular, la distribución ideal de los elementos de arriostramiento consiste en disponerlos en planos perpendiculares entre sí dentro del entramado estructural, con continuidad a lo largo de todas las plantas.

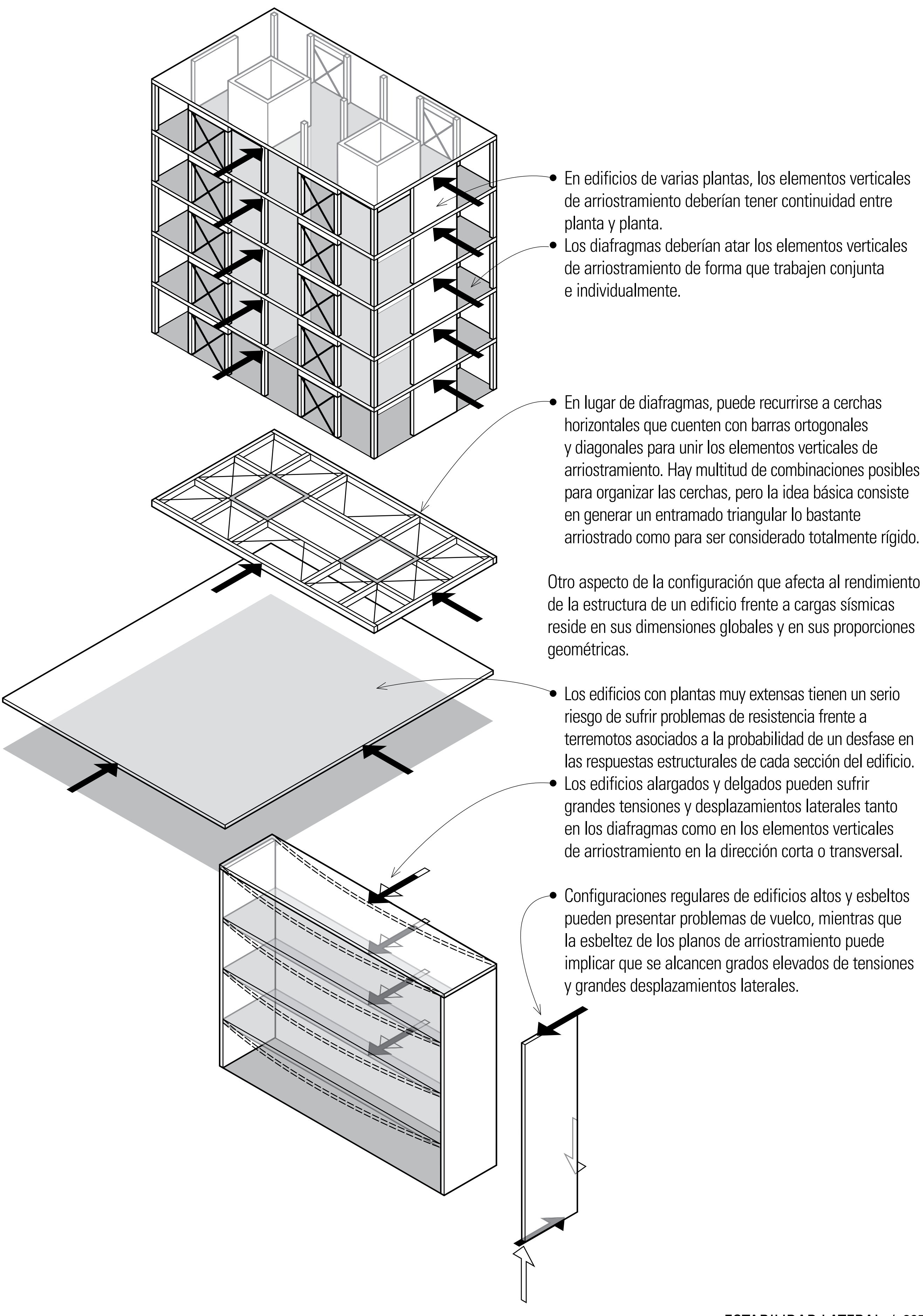
La distancia existente entre los distintos elementos también afecta a la eficacia del sistema de arriostramiento. Cuanto más concentrados dentro del edificio se encuentren los distintos elementos, mayor tendrá que ser su resistencia y su rigidez. De igual modo, cuanto más separados y uniformemente distribuidos estén, menor será la rigidez requerida para cada elemento particular de arriostramiento.

Para el rendimiento de una estrategia de arriostramiento basada en la dispersión de los elementos individuales, también es crítico su grado de unión con los diafragmas horizontales, encargados de garantizar que trabajen conjuntamente y no como elementos individuales. Por ejemplo, en el caso en que los elementos de arriostramiento estén concentrados, los diafragmas horizontales deben ser capaces de transferir las cargas laterales procedentes de las superficies exteriores a estos elementos internos de arriostramiento.

En edificios de varias plantas, los núcleos de servicio que alojan ascensores, escaleras e instalaciones pueden construirse mediante muros rigidizadores o pórticos triangulados. Estos muros del núcleo pueden concebirse como elementos de arriostramiento individuales en cada uno de sus planos, o como un tubo estructural tridimensional capaz de estabilizar y rigidizar la estructura completa del edificio frente a las cargas laterales. Puesto que estos núcleos presentan normalmente una sección transversal rectangular o circular, su acción tubular ofrece un medio eficaz para resistir momentos y esfuerzos de cortante en todas las direcciones. Una combinación de núcleos estructurales y planos de arriostramiento puede ofrecer una resistencia excelente frente a cargas laterales siempre que se sitúen de forma estratégica y se conecten entre sí mediante diafragmas horizontales en cada planta.



- Un único núcleo central que proporcione a la estructura toda la resistencia lateral necesaria tendrá que ser más resistente y más rígido que dos núcleos gemelos y simétricos.
- Una distribución simétrica de elementos de arriostramiento en fachada y dos núcleos interiores proporciona una mejor dispersión y una resistencia más equilibrada frente a cargas laterales en ambas direcciones. Los muros rigidizadores pueden emplearse para resistir en una dirección principal, mientras que los pórticos rígidos o triangulados pueden utilizarse en la dirección perpendicular.
- Una distribución asimétrica de los elementos de arriostramiento de fachada implican una configuración irregular. Sin embargo esta disposición sigue resultado eficaz frente a cargas laterales en ambas direcciones donde el núcleo central proporciona una resistencia lateral adicional.
- Esta es otra configuración irregular debido a la disposición asimétrica de los elementos de arriostramiento a lo largo del eje longitudinal. Los muros de los núcleos proporcionan resistencia lateral en la dirección transversal, mientras que los muros exteriores trabajan conjuntamente con los de los núcleos en la dirección longitudinal.



- En edificios de varias plantas, los elementos verticales de arriostramiento deberían tener continuidad entre planta y planta.
- Los diafragmas deberían atar los elementos verticales de arriostramiento de forma que trabajen conjunta e individualmente.

- En lugar de diafragmas, puede recurrirse a cerchas horizontales que cuenten con barras ortogonales y diagonales para unir los elementos verticales de arriostramiento. Hay multitud de combinaciones posibles para organizar las cerchas, pero la idea básica consiste en generar un entramado triangular lo bastante arriostrado como para ser considerado totalmente rígido.

Otro aspecto de la configuración que afecta al rendimiento de la estructura de un edificio frente a cargas sísmicas reside en sus dimensiones globales y en sus proporciones geométricas.

- Los edificios con plantas muy extensas tienen un serio riesgo de sufrir problemas de resistencia frente a terremotos asociados a la probabilidad de un desfase en las respuestas estructurales de cada sección del edificio.
- Los edificios alargados y delgados pueden sufrir grandes tensiones y desplazamientos laterales tanto en los diafragmas como en los elementos verticales de arriostramiento en la dirección corta o transversal.

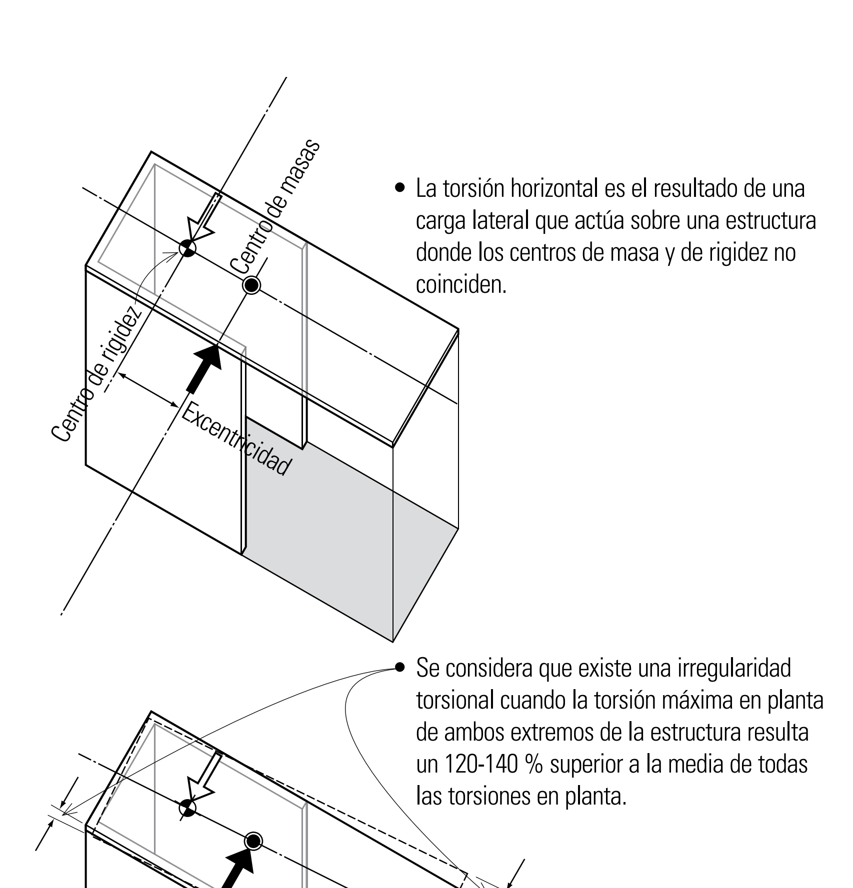
- Configuraciones regulares de edificios altos y esbeltos pueden presentar problemas de vuelco, mientras que la esbeltez de los planos de arriostramiento puede implicar que se alcancen grados elevados de tensiones y grandes desplazamientos laterales.

Configuraciones irregulares
Resulta inconcebible que todos los edificios puedan tener configuraciones regulares. Las irregularidades en planta y en sección a menudo son resultado de requisitos, preocupaciones o decisiones funcionales y contextuales. Sin embargo, una disposición desequilibrada del edificio puede tener un impacto sobre la estabilidad de la estructura sometida a cargas laterales, y resulta especialmente susceptible a sufrir daños durante un terremoto. En el contexto del diseño sísmico, las distintas irregularidades pueden tener mayor o menor influencia en el comportamiento de la estructura, en función de su propia naturaleza y de su importancia relativa respecto al conjunto. En los casos en los cuales no sea posible eliminar las irregularidades, el proyectista debe ser consciente de las posibles consecuencias sísmicas y diseñar cuidadosamente todos los detalles de la estructura para asegurar un rendimiento adecuado.

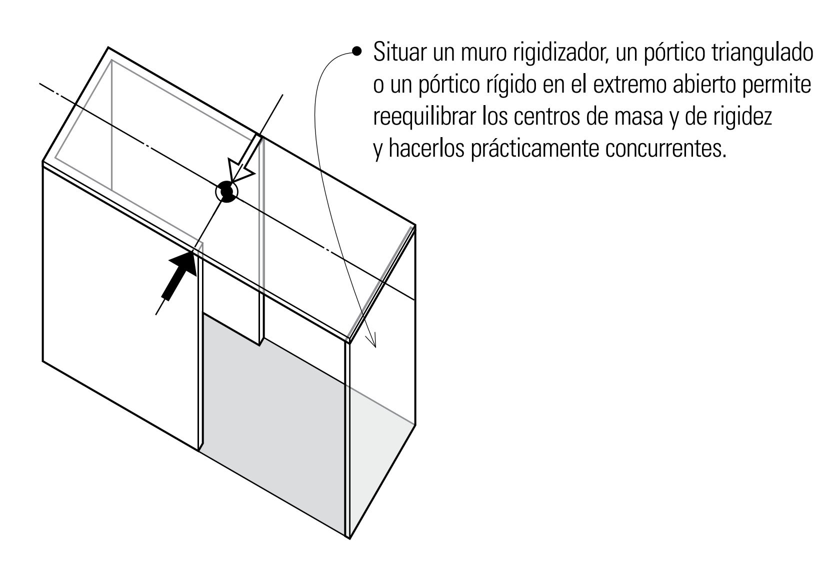
Irregularidades horizontales
Las irregularidades horizontales incluyen aquellas que surgen de las configuraciones en planta, como las irregularidades torsionales, las esquinas entrantes, los sistemas no paralelos, las discontinuidades del diafragma o los desplazamientos fuera del plano.

Irregularidad torsional
Las variaciones en la resistencia y la rigidez del perímetro de una estructura pueden provocar la aparición de una excentricidad o separación entre el centro de masas (el centroide de las cargas laterales) y el centro de rigidez o resistencia (centro de los elementos verticales de arriostramiento del sistema). El resultado es un momento de torsión horizontal en el edificio que puede ocasionar concentraciones de tensiones en determinados puntos, especialmente en las esquinas entrantes, que sobrepasen los límites de resistencia de algunos elementos de la estructura. Para evitar efectos de torsión que puedan producir daños, las estructuras deberían organizar sus elementos portantes y de arriostramiento lo más simétricos posibles, reduciendo al mínimo la excentricidad o distancia entre el centro de masas y el de rigidez.

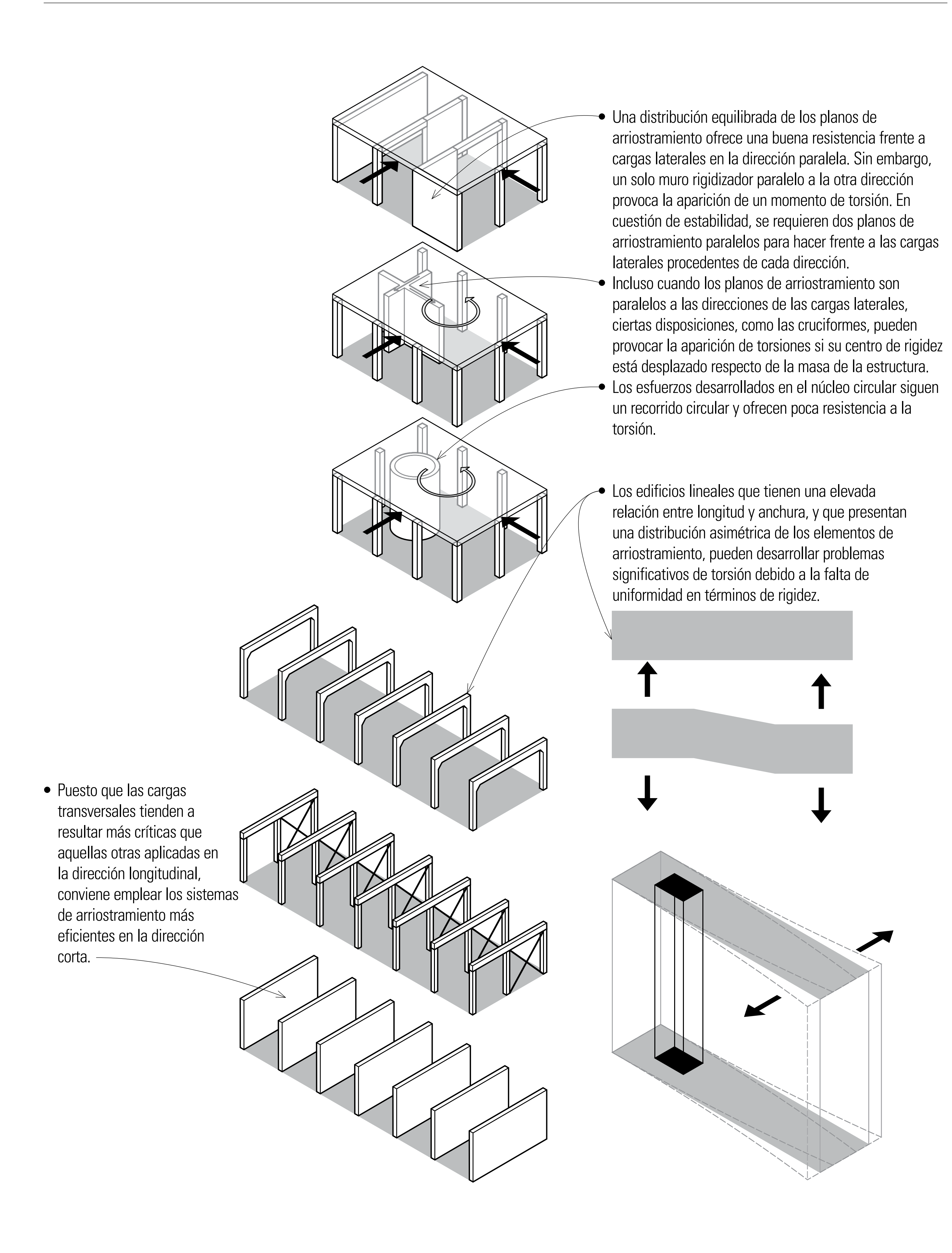
Cuando la planta de un edificio no es simétrica, el sistema de arriostramiento lateral debe ajustarse para que el centro de rigidez esté lo más cerca posible al de masas. Si esto no fuera posible, la estructura habrá de diseñarse específicamente para soportar los efectos de torsión inducidos por la disposición asimétrica. Un ejemplo podría consistir en situar los elementos de arriostramiento de tal forma que la rigidez aportada por los mismos se distribuya de forma similar a la masa.



- La torsión horizontal es el resultado de una carga lateral que actúa sobre una estructura donde los centros de masa y de rigidez no coinciden.
- Se considera que existe una irregularidad torsional cuando la torsión máxima en planta de ambos extremos de la estructura resulta un 120-140 % superior a la media de todas las torsiones en planta.



- Situar un muro rigidizador, un pórtico triangulado o un pórtico rígido en el extremo abierto permite reequilibrar los centros de masa y de rigidez y hacerlos prácticamente concurrentes.

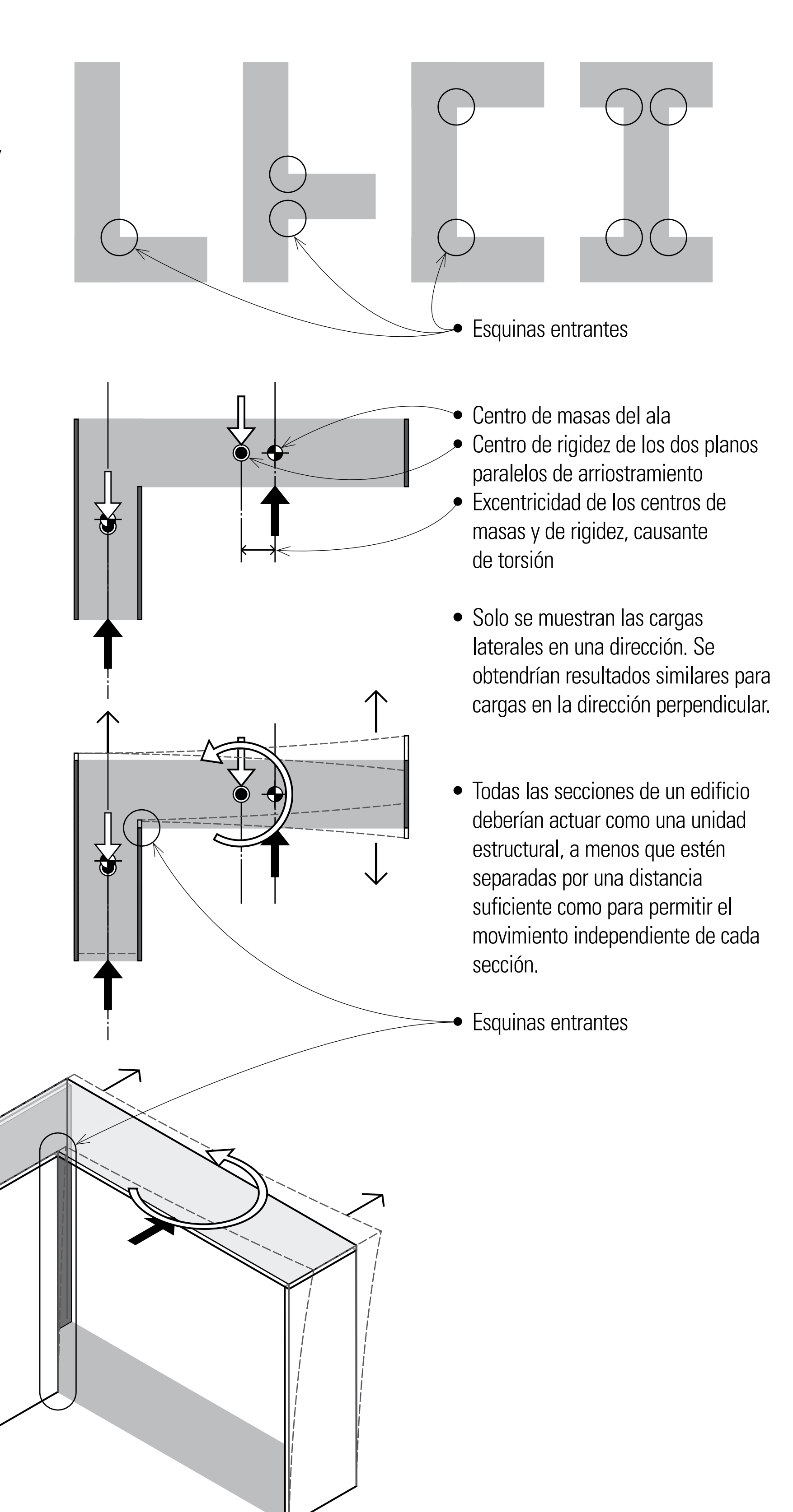


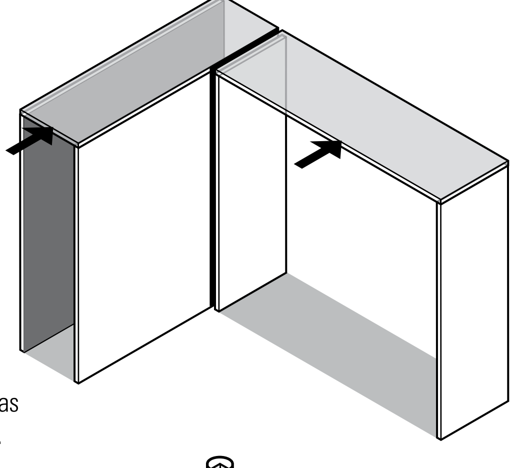
- Una distribución equilibrada de los planos de arriostramiento ofrece una buena resistencia frente a cargas laterales en la dirección paralela. Sin embargo, un solo muro rigidizador paralelo a la otra dirección provoca la aparición de un momento de torsión. En cuestión de estabilidad, se requieren dos planos de arriostramiento paralelos para hacer frente a las cargas laterales procedentes de cada dirección.
- Incluso cuando los planos de arriostramiento son paralelos a las direcciones de las cargas laterales, ciertas disposiciones, como las cruciformes, pueden provocar la aparición de torsiones si su centro de rigidez está desplazado respecto de la masa de la estructura.
- Los esfuerzos desarrollados en el núcleo circular siguen un recorrido circular y ofrecen poca resistencia a la torsión.
- Los edificios lineales que tienen una elevada relación entre longitud y anchura, y que presentan una distribución asimétrica de los elementos de arriostramiento, pueden desarrollar problemas significativos de torsión debido a la falta de uniformidad en términos de rigidez.
- Puesto que las cargas transversales tienden a resultar más críticas que aquellas otras aplicadas en la dirección longitudinal, conviene emplear los sistemas de arriostramiento más eficientes en la dirección corta.

Esquinas entrantes
Los edificios con plantas cruciformes o en forma de L, T, U o H son problemáticos porque pueden formarse áreas de gran concentración de tensiones en las esquinas entrantes, aquellas esquinas interiores en las cuales las proyecciones del edificio son superiores a un 15 % de las dimensiones de la planta en una determinada dirección.

Estas formas edificatorias tienden a mostrar diferencias de rigidez entre sus distintas partes, lo cual tiende a producir movimientos diferenciales entre distintas secciones de la estructura, provocando la concentración de tensiones localizadas en las esquinas entrantes.

Las concentraciones de tensiones y los efectos de torsión en las esquinas entrantes son fenómenos interrelacionados. Los centros de masa y de rigidez de estas configuraciones no pueden coincidir geométricamente para todas las posibles direcciones de un movimiento sísmico, dando como resultado la aparición de torsiones.





Hay dos enfoques básicos para tratar el problema de las esquinas entrantes:

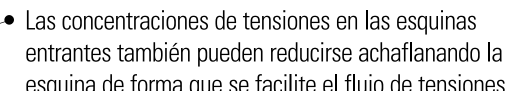
1. Disponer dos estructuras independientes, con una forma más simple y conectadas mediante juntas sísmicas, para cada parte del edificio. Las juntas sísmicas se diseñan y ejecutan para soportar la torsión máxima de cada unidad por separado, con espacio suficiente para acomodar las deformaciones máximas que puedan sufrir ambas. Cada una de las partes estructuralmente independientes debe ser capaz de resistir las cargas verticales y horizontales por sí mismas.

- Solo se muestran las cargas laterales en una dirección. Se obtendrían resultados similares para cargas en la dirección perpendicular.

2. Atar las distintas partes del edificio de forma más consistente para hacer frente a los mayores valores de tensión.

- Una posible solución consiste en atar firmemente los dos edificios, de forma que las alas puedan responder mejor como una unidad durante un sismo. Pueden utilizarse vigas cajón en la intersección para transferir las cargas a través del núcleo de la intersección.

- Asumiendo el atado de las alas, otra solución consiste en introducir elementos de arriostramiento (muros rigidizadores, pórticos triangulados o pórticos rígidos) que cubran toda la altura del edificio en los extremos de cada ala para reducir su desplazamiento y mitigar, la tendencia a torsión del edificio.



- Las concentraciones de tensiones en las esquinas entrantes también pueden reducirse achaflanando la esquina de forma que se facilite el flujo de tensiones.

Sistemas no paralelos

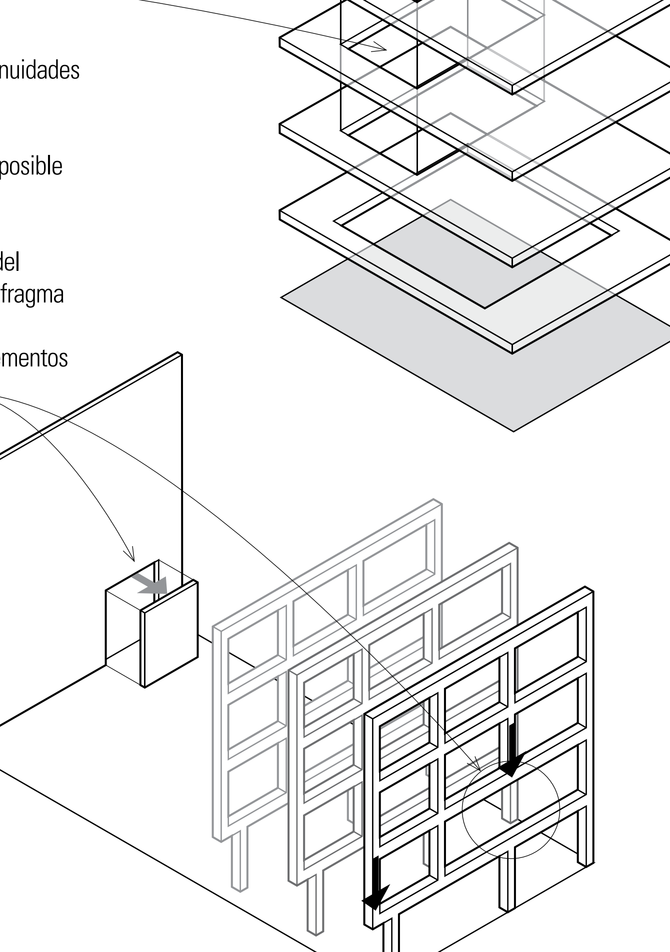
En los sistemas no paralelos, los elementos verticales de arriostramiento no son ni paralelos ni simétricos respecto de los principales ejes ortogonales de la estructura. Los planos de arriostramiento no paralelos no serían capaces de resistir la torsión resultante de la carga lateral y de las reacciones de cortante producidas en los planos de los muros paralelos a la carga.

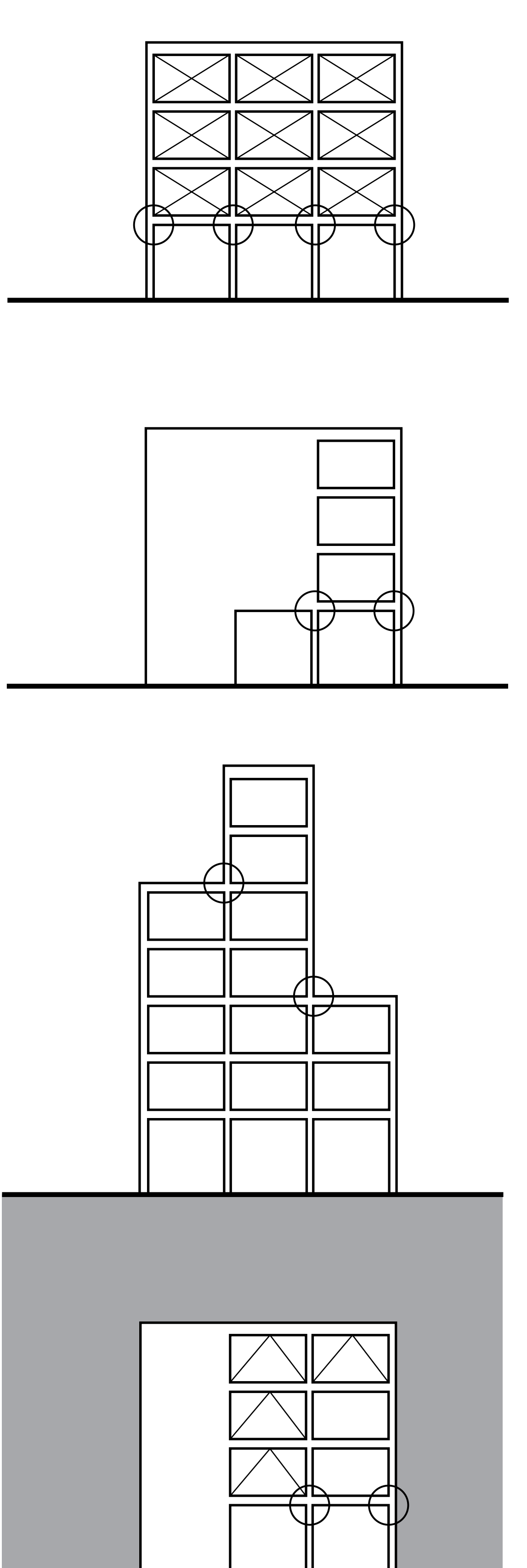
Discontinuidades en el diafragma

Los diafragmas que presentan variaciones significativas de rigidez entre una planta y la siguiente, así como aquellos que incorporan grandes aberturas o zonas abiertas, representan otro tipo de irregularidad en planta. Estas discontinuidades afectan a la distribución de las cargas laterales de los diafragmas a los elementos verticales de arriostramiento.

Desplazamientos fuera del plano

Los desplazamientos fuera del plano son discontinuidades en el recorrido de los elementos verticales de arriostramiento. Las cargas que actúan sobre una estructura deberían fluir de la forma más directa posible entre un elemento estructural y el siguiente, para ser finalmente transferida al terreno a través de las cimentaciones. Cuando un elemento vertical del sistema de arriostramiento es discontinuo, un diafragma horizontal debe hacerse cargo de redistribuir los esfuerzos horizontales de cortante entre otros elementos de arriostramiento, del mismo u otro plano.





Irregularidades verticales
Las irregularidades verticales surgen por configuraciones en sección, como plantas flexibles, plantas débiles, irregularidades geométricas, discontinuidades en el plano e irregularidades en la masa o el peso.

Plantas flexibles
Las plantas flexibles presentan una rigidez lateral significativamente menor que la de plantas superiores. Una planta flexible puede situarse en cualquier altura, pero puesto que las cargas sísmicas se van acumulando conforme nos aproximamos a la base del edificio, la discontinuidad de la rigidez tiende a ser mayor entre la primera y la segunda planta de un edificio. La menor rigidez produce mayores deformaciones en los pilares de la planta flexible y, por lo general, provoca un fallo por cortante en la conexión viga-pilar.

Plantas débiles
Las plantas débiles son aquellas que presentan una resistencia significativamente menor que la de la planta superior. Cuando los muros rigidizadores no están alineados en la horizontal de una planta a la siguiente, las cargas laterales no pueden fluir directamente hacia abajo, desde la cubierta a los cimientos, a través de los muros. Para superar la discontinuidad, las cargas laterales alterarán su recorrido provocando un aumento localizado de las tensiones en estas discontinuidades que pueden llegar a ser críticos. La discontinuidad del muro rigidizador supone un caso especial del problema de las primeras plantas flexibles.

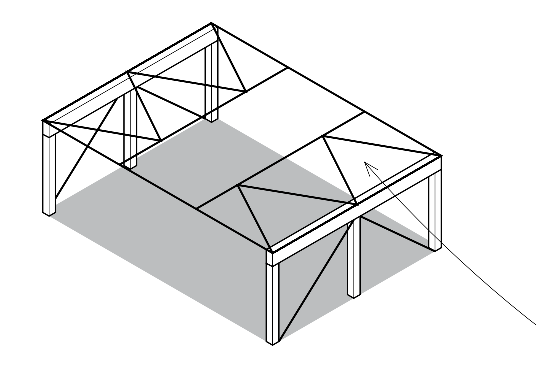
Irregularidades geométricas
Las irregularidades geométricas se originan cuando un elemento vertical de arriostramiento tiene un desarrollo horizontal distinto en plantas contiguas. Esta irregularidad vertical puede provocar que las diversas partes de un edificio tengan respuestas diferentes y muy complejas. Debe prestarse especial atención a los puntos de conexión en los cuales se producen cambios en la fachada.

Discontinuidades en el plano
Las discontinuidades en el plano originan variaciones en la rigidez de los elementos verticales de arriostramiento. Normalmente la rigidez debería aumentar según se desciende desde la cubierta a la base del edificio, al igual que lo hacen las cargas sísmicas. El punto crítico se encuentra en la segunda planta, y cualquier reducción del arriostramiento lateral en esta planta puede provocar deformaciones importantes en los pilares de la primera planta y tensiones de cortante muy elevadas en los pilares y muros rigidizadores.

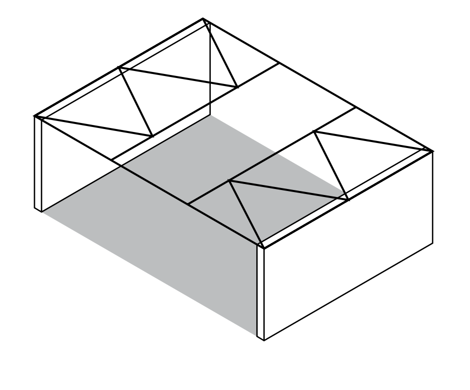
Irregularidad de peso o masa

La irregularidad de peso o masa se origina cuando la masa de una planta es significativamente más pesada que la masa de una planta adyacente. Similar a la irregularidad por plantas flexibles, el cambio en la rigidez provoca una redistribución de las cargas que puede ocasionar concentraciones de las tensiones en las uniones viga-pilar y mayores desplazamientos de los pilares inferiores.

- Las piscinas, las cubiertas vegetales, con sustratos y materiales pesados sobre ellas, implican grandes masas situadas al nivel del diafragma de cubierta, que se convierten en grandes cargas inerciales horizontales durante un sismo. Para soportar esta carga añadida será necesario disponer un sistema de arriostramiento más consistente, aumentando la sección de los elementos estructurales o reduciendo la luz de los vanos para hacer frente a cargas más elevadas.

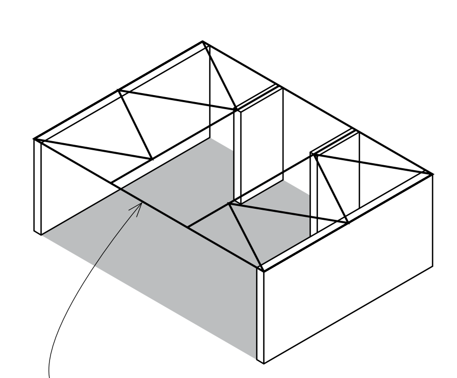


Triangulación de planos horizontales
De forma ocasional, cuando una cubierta o el tablero de un forjado son demasiado ligeros o flexibles para actuar como diafragmas frente a cargas laterales, el entramado horizontal debe incorporar barras diagonales similares a las de los pórticos triangulados. En los edificios de entramado de acero, especialmente en estructuras de almacenes y naves industriales con cerchas que cubren grandes luces, el diafragma de cubierta se materializa mediante riostras y diagonales de acero. La consideración más importante es proporcionar un recorrido completo para las cargas laterales hasta los elementos verticales de arriostramiento.



- La triangulación horizontal funciona como una cercha, y puede resistir de forma eficaz los esfuerzos cortantes sobre el plano de cubierta, especialmente en cargas procedentes de direcciones que no sean ni la longitudinal ni la transversal.

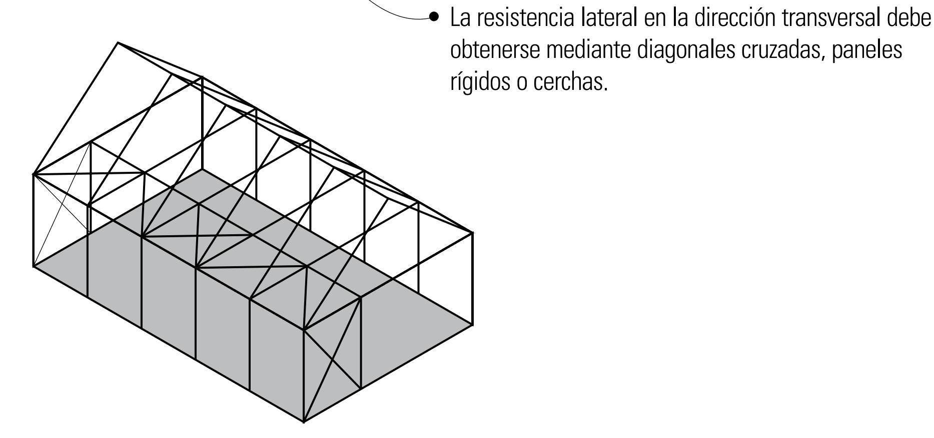
- La triangulación también resulta útil durante la fase de construcción para ayudar a escuadrar las dimensiones en planta, así como para proporcionar rigidez a la estructura antes de que el diafragma de cubierta esté terminado. Por lo general no es necesario triangular todos los vanos del plano de cubierta, basta con el número que garantice la transferencia de las cargas laterales hasta el sistema de arriostramiento vertical.



- Las cargas laterales se transmiten a lo largo de los planos de cubierta, actuando como vigas horizontales que cubren la distancia existente entre los elementos verticales de arriostramiento.

- Las cerchas tridimensionales no solo rigidizan el conjunto de la estructura, sino también los elementos individuales frente al pandeo.

- La resistencia lateral en la dirección transversal debe obtenerse mediante diagonales cruzadas, paneles rígidos o cerchas.



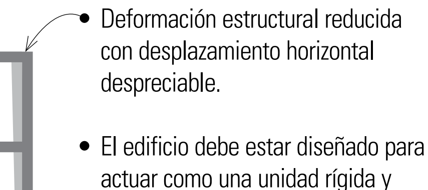
Aislamiento sísmico

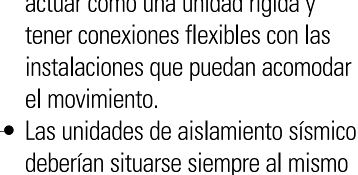
El aislamiento sísmico o aislamiento de base es una estrategia que implica la separación o aislamiento del edificio respecto de su cimentación, de modo que pueda absorber el impacto de un terremoto. Cuando el terreno se mueve, el edificio lo hace a una frecuencia menor, porque el aislamiento disipa gran parte de la sacudida del terremoto. Mediante esta solución, la estructura del edificio queda desacoplada de los componentes horizontales del movimiento sísmico del terreno, gracias a una capa intermedia con una baja rigidez horizontal que se sitúa entre la estructura y la cimentación, logrando reducir la fuerza de inercia resultante que debe resistir la estructura.

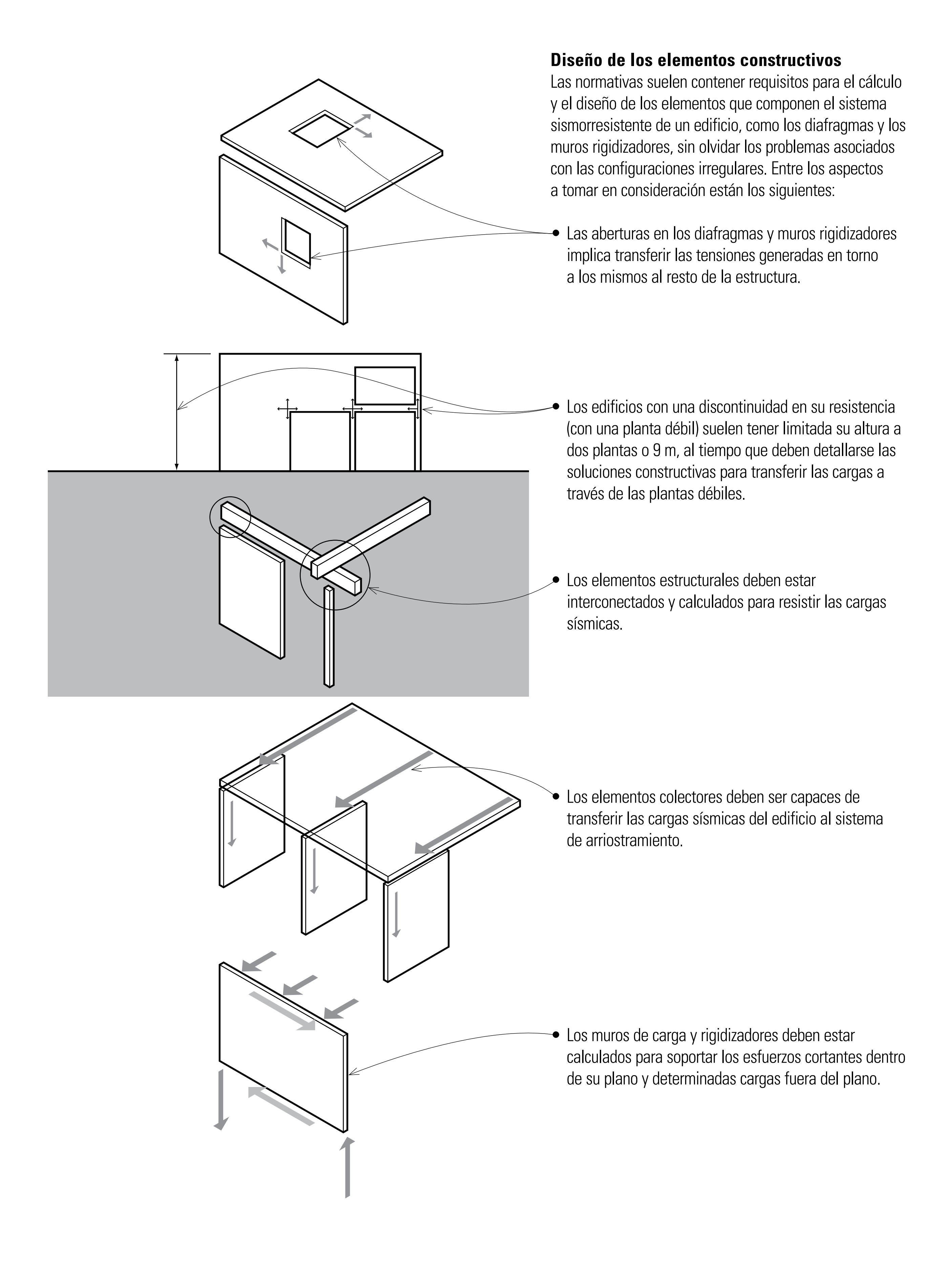
En la actualidad, los aislamientos sísmicos más comunes consisten en capas alternas de acero y caucho natural o neopreno adheridas entre sí, con un cilindro de plomo puro insertado en el medio. Las capas de caucho permiten que el aislante se desplace en horizontal con facilidad, reduciendo las cargas sísmicas experimentadas por el edificio y sus ocupantes. También funcionan como un resorte: devuelven al edificio a su posición original cuando la sacudida ha terminado. La fijación mediante vulcanización de las planchas de caucho y la chapa de refuerzo de acero permite que el conjunto sea flexible en la dirección horizontal y muy rígida en la vertical. Las cargas verticales se transmiten a la estructura sin cambios aparentes.

Por lo general, los sistemas de aislamiento sísmico son adecuados para edificios rígidos de unas siete plantas de altura; los edificios más altos sufrirían riesgo de vuelco que los sistemas de aislamiento sísmico no pueden contrarrestar. No obstante, recientemente el sistema se ha aplicado a edificios de mayor altura. Normalmente los edificios con aislamiento sísmico requieren un período de oscilación entre 2,5 y 3 veces menor que el edificio típico no aislado.

- El desplazamiento horizontal por planta de un edificio se refiere al desplazamiento de una planta respecto a otra adyacente.
- Las estructuras convencionales están sometidas a grandes desplazamientos y deformaciones debido a las aceleraciones de los movimientos sísmicos, que se ven amplificados en las plantas superiores.





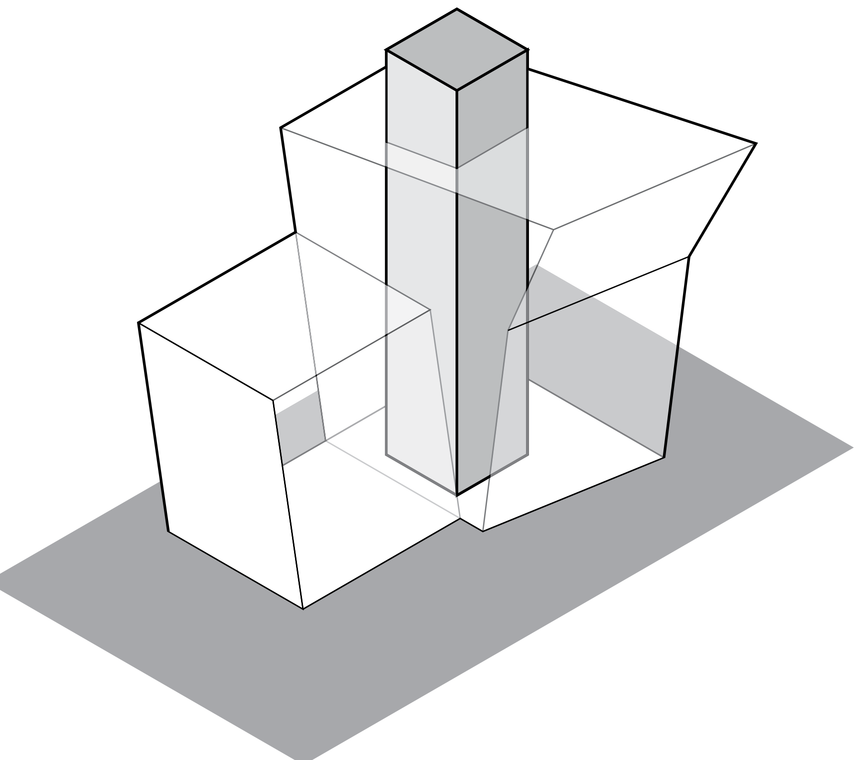


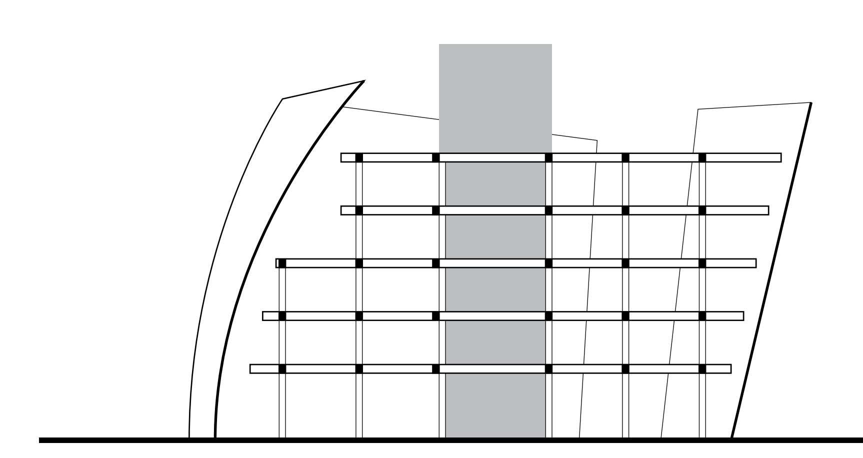
Diseño de los elementos constructivos

Las normativas suelen contener requisitos para el cálculo y el diseño de los elementos que componen el sistema sismorresistente de un edificio, como los diafragmas y los muros rigidizadores, sin olvidar los problemas asociados con las configuraciones irregulares. Entre los aspectos a tomar en consideración están los siguientes:

- Las aberturas en los diafragmas y muros rigidizadores implica transferir las tensiones generadas en torno a los mismos al resto de la estructura.
- Los edificios con una discontinuidad en su resistencia (con una planta débil) suelen tener limitada su altura a dos plantas o 9 m, al tiempo que deben detallarse las soluciones constructivas para transferir las cargas a través de las plantas débiles.
- Los elementos estructurales deben estar interconectados y calculados para resistir las cargas sísmicas.
- Los elementos colectores deben ser capaces de transferir las cargas sísmicas del edificio al sistema de arriostramiento.
- Los muros de carga y rigidizadores deben estar calculados para soportar los esfuerzos cortantes dentro de su plano y determinadas cargas fuera del plano.

Los efectos de las cargas gravitatorias y laterales se aplican a cualquier estructura, con independencia de su forma o geometría. Incluso los edificios de planta libre, que parecen no tener ninguna regularidad en su estructura, cuentan a menudo con una retícula regular por debajo de su superficie, o pueden incorporar una geometría estructural no rectilínea que es inherentemente estable. Hay varias maneras para dotar de estructura a las formas curvas, irregulares y orgánicas. La cuestión importante es que estas formas aparentemente libres deberían tener una base geométrica o estructural, aunque no sea visible, que debe incorporar las necesarias estrategias de arriostramiento frente a cargas laterales.

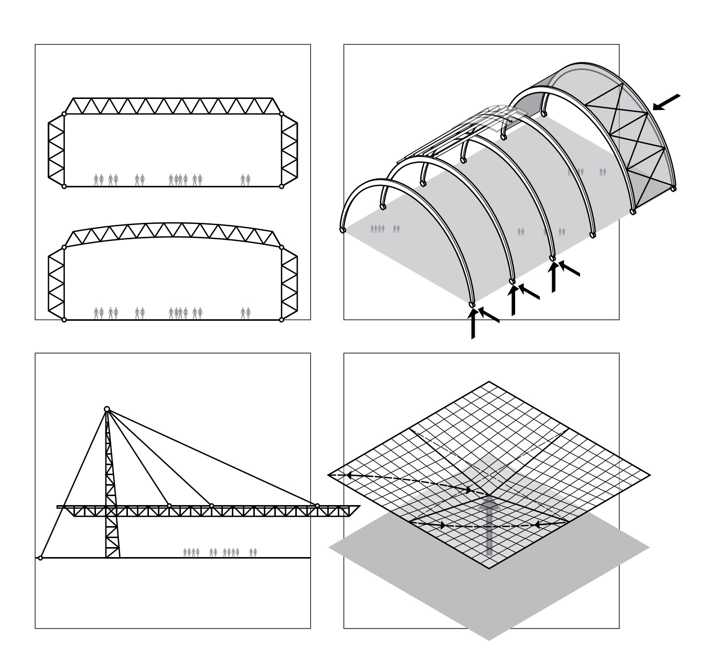




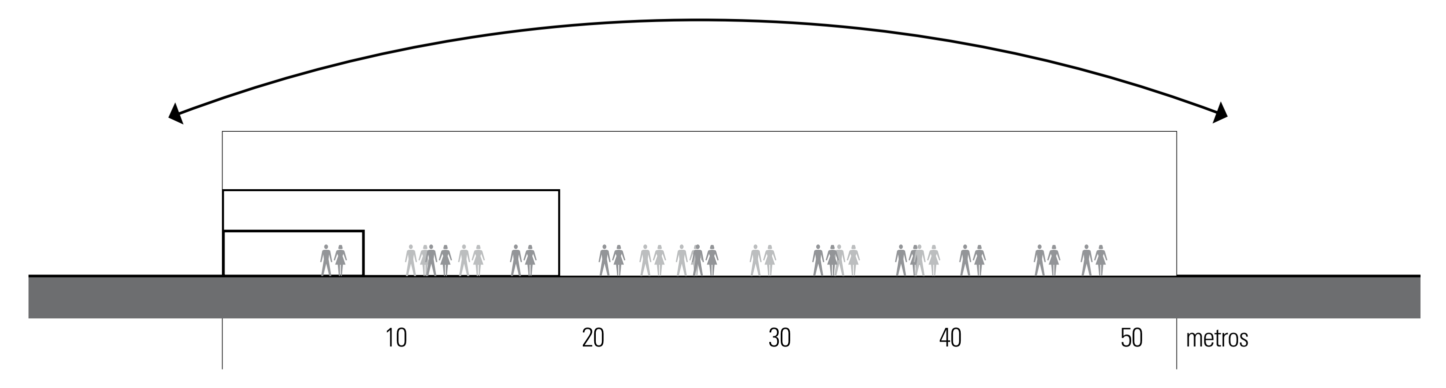
- Los elementos portantes terciarios, como tubos verticales, para apoyar una fachada de geometría libre sobre un entramado estructural regular y rectilíneo.
- Soportes situados a distancias regulares en una dirección, con una serie de pórticos rígidos de geometría libre que definen la forma exterior.
- Una composición de superficies de doble curvatura que son, de hecho, porciones de superficies geométricas regulares.

6

Estructuras de grandes luces



Aunque salvar luces es un tema fundamental en la mayoría de los edificios de gran tamaño, en el caso de auditorios, salas de congresos e instalaciones similares constituye el factor dominante, debido a la necesidad de espacios diáfanos de gran tamaño. En este tipo de edificios, los proyectistas e ingenieros deben afrontar la tarea de elegir un sistema estructural adecuado y capaz de resistir los grandes momentos de flexión producidos por las luces de la manera más eficiente posible, sin sacrificar por ello la seguridad.

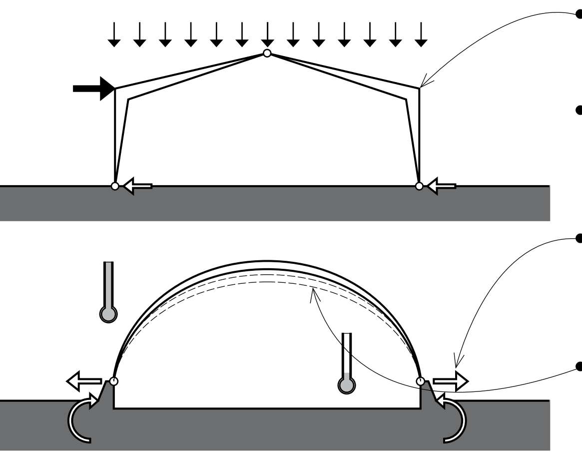


No existe una definición específica para determinar qué es una estructura de grandes luces. En este texto consideramos que entra en esta categoría cualquier luz superior a los 18 m. Las estructuras de grandes luces se utilizan sobre todo para dar forma y soporte a las cubiertas de los grandes espacios diáfanos, propios de estadios deportivos, teatros, piscinas y hangares de aviación. También pueden utilizarse para soportar forjados en aquellos edificios que contienen grandes espacios diáfanos dentro de su estructura general.

- Los estadios de fútbol, béisbol o rugby pueden estar cubiertos o no. Algunos estadios cubiertos cuentan con sistemas de cubierta capaces de albergar entre 50.000 y 80.000 espectadores, con luces que pueden alcanzar los 250 m.
- La forma y el tamaño de los estadios deportivos depende de las dimensiones de la zona central y de la configuración y la capacidad de las gradas. La forma de la cubierta puede ser circular, ovalada, cuadrada o rectangular, con luces críticas en el rango de 45 a 90 m, o más. Casi todas las construcciones modernas cuentan con gradas libres de pilares o de cualquier otro obstáculo visual.
- Por lo general, los teatros y las salas de espectáculos son más pequeños que los estadios deportivos, pero en cualquier caso requieren estructuras de grandes luces para conseguir espacios diáfanos.
- Las instalaciones de ferias y congresos suelen incorporar un gran espacio reservado para grandes exposiciones o espectáculos, con una superficie total de entre 2.500 y 30.000 m^2. La distancia entre pilares debe ser la máxima posible para dotar al espacio de la mayor flexibilidad. Aunque con frecuencia se utilizan luces de 6-10 m, que responden bien a los usos más comunes, podemos encontrar salas de exposiciones con luces de más de 30 m.
- Otras tipologías que recurren normalmente a los sistemas de grandes luces son los almacenes, las instalaciones industriales y manufactureras, los hangares y las terminales aeroportuarias, así como las grandes superficies comerciales.

Cuestiones estructurales
La escala es fundamental para determinar la forma estructural. En estructuras relativamente pequeñas —viviendas unifamiliares o pequeños edificios—, los requisitos estructurales pueden resolverse mediante sistemas sencillos que hagan uso de diversos materiales. Sin embargo, en las estructuras de gran tamaño, las cargas gravitatorias verticales y las laterales sísmicas y de viento a menudo restringen los materiales que pueden emplearse, al tiempo que los distintos métodos constructivos condicionan el funcionamiento del sistema estructural.

- Las flechas y deformaciones constituyen un factor determinante en las estructuras de grandes luces. El canto y las dimensiones de cada uno de los elementos de la estructura suelen estar más condicionados por el control de la flecha que por los esfuerzos producidos por la flexión.



- Las secciones de las estructuras de grandes luces deberían contar con más canto allí donde los momentos de flexión son mayores.
- Algunas estructuras de grandes luces, como cúpulas y sistemas tensados, resultan eficaces para soportar cargas distribuidas, pero son muy sensibles frente a cargas concentradas de cualquier tipo.
- La naturaleza de algunas estructuras de grandes luces —arcos, bóvedas y cúpulas— provoca la aparición de empujes laterales en sus apoyos que deben contrarrestarse mediante tirantes o contrafuertes.
- Los elementos estructurales de gran longitud están expuestos a cambios significativos en su longitud debido a las dilataciones y contracciones térmicas, especialmente en estructuras al aire libre.
- La estabilización de las estructuras de grandes luces frente a las cargas laterales resulta especialmente crítico debido a las grandes acumulaciones de personas que normalmente albergan.

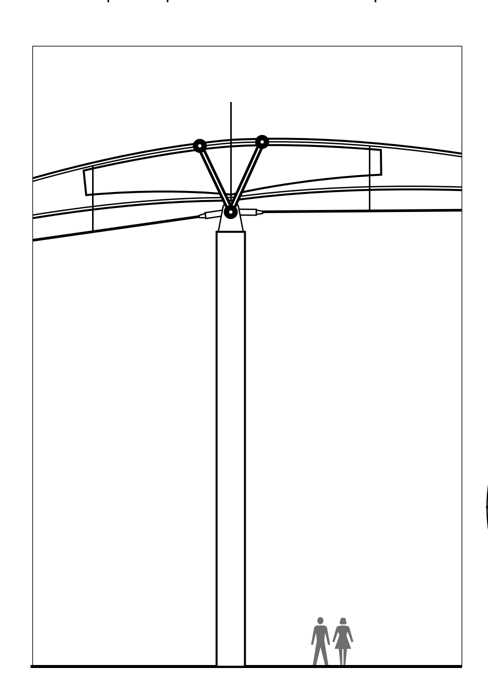
- Las estructuras de grandes luces presentan poca redundancia, y están sujetas a la posibilidad de un colapso catastrófico en caso de que falle algún elemento clave de la estructura. Los pilares, pórticos y muros donde apoyan los elementos que salvan las grandes luces deben soportar enormes cargas tributarias, y hay pocas posibilidades para redistribuir dichas cargas entre otros elementos, en caso de que alguno de ellos falle.
- El embalsamiento de agua es una de las situaciones más críticas a la hora de diseñar una cubierta de grandes luces. Si la cubierta sufre una deformación que evite la adecuada evacuación del agua, puede producirse una mayor acumulación de agua en el centro del vano que provoque una deformación mayor, lo cual origina una mayor concentración de carga. Este ciclo retroalimentado puede continuar hasta producir el colapso de la estructura. Las cubiertas deberían diseñarse con una inclinación o pendiente suficiente para asegurar un drenaje adecuado, o calcularse para soportar las máximas cargas previsibles, que incluyen el embalsamiento de agua.

Cuestiones de diseño

Por motivos de economía y eficiencia, las estructuras de grandes luces deberían adoptar una forma acorde a una geometría estructural apropiada. Por ejemplo, su sección debería presentar mayor canto donde se produzcan los mayores momentos flectores y menor en las articulaciones, donde los momentos son mínimos o inexistentes. El contorno resultante puede producir un impacto poderoso en el exterior del edificio, especialmente el contorno de la cubierta, así como en la forma de los espacios interiores que albergue.

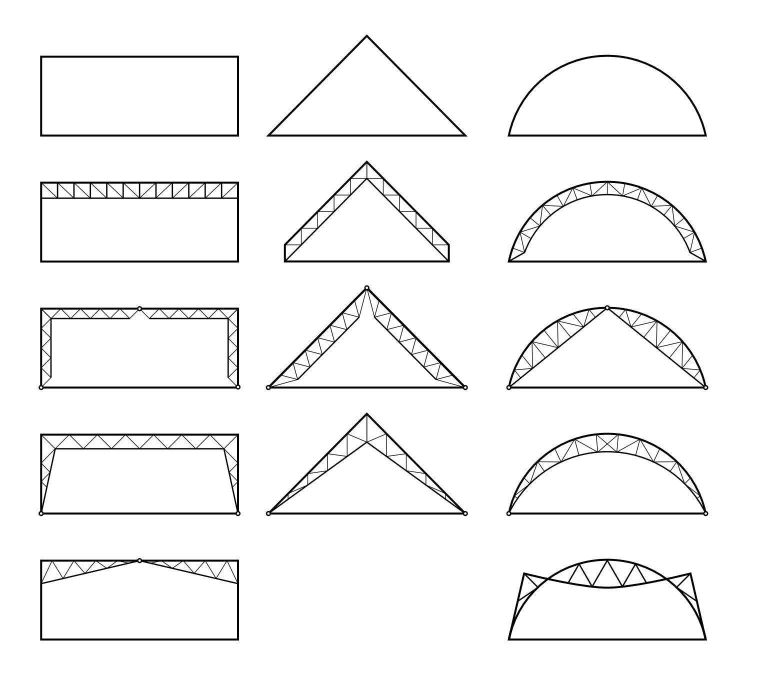
La elección de un sistema estructural adecuado depende del rango de luces a salvar, ya sea por requisitos del programa o por voluntad del proyectista, de las implicaciones formales y espaciales del diseño, así como de factores económicos relacionados con los materiales o la fabricación, transporte y montaje de las piezas. Cualquiera de estos factores puede restringir las posibilidades de elección de una estructura de grandes luces.

Otra decisión a la que debe hacer frente el proyectista es valorar hasta qué punto debe quedar expuesta, o incluso enfatizada, la estructura. Debido a la gran escala de este tipo de estructuras, suele resultar difícil ocultar su presencia. Sin embargo, algunas estructuras de grandes luces son más efusivas a la hora de expresar su función y su funcionamiento estructural, mientras que otras son mucho más discretas. Por ello, la decisión puede plantearse como una elección entre un diseño que aproveche la expresividad de los elementos estructurales u otro que modere su impacto y centre el foco en las actividades que se producen dentro del espacio.

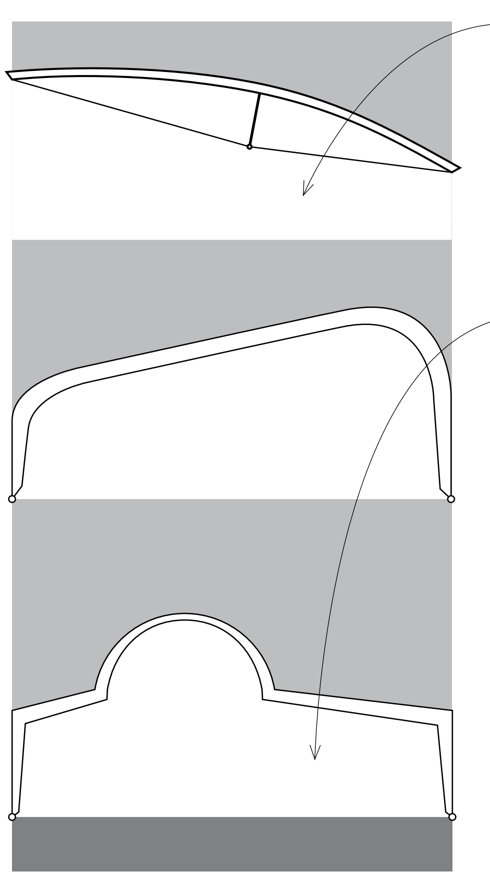


- El diseño de las conexiones en una estructura de grandes luces puede tener su propio interés visual, además de ofrecer un sentido de la escala.

- La mayor parte de las estructuras de grandes luces son sistemas unidireccionales, normalmente dispuestos en series lineales.
- La capacidad a flexión de los elementos secundarios determina la distancia a la cual se sitúan los elementos primarios y la carga tributaria que les corresponde.
- Debería lograrse la máxima repetición de los elementos estructurales para ahorrar costes.
- Además de elementos de arriostramiento en el plano de las estructuras de grandes luces, también debería disponerse un sistema de estabilización lateral en el plano perpendicular.
- Los sistemas bidireccionales, como las cerchas tridimensionales o las cúpulas, requieren una distribución básicamente cuadrada o circular de los soportes.
- Excepto en determinados usos industriales y mercantiles relacionados con materiales peligrosos, las normativas suelen permitir la omisión de los requisitos de resistencia frente al fuego en la cubierta, siempre que esta se encuentre a una altura suficiente sobre la superficie ocupada.



- Puesto que la mayor parte de las estructuras de grandes luces son sistemas unidireccionales, su perfil o sección transversal es una cuestión de diseño importante.
- Las estructuras de vigas y cerchas de canto constante trasladan una geometría rectilínea tanto a los espacios interiores como a las formas exteriores.
- Las cúpulas y las estructuras abovedadas dan lugar a formas exteriores convexas y espacios interiores cóncavos.
- Los arcos y los sistemas triangulados o tensados ofrecen una gran variedad de perfiles. Por ejemplo, en la ilustración se muestran unos pocos de los muchos perfiles posibles de una cubierta soportada mediante cerchas o arcos triangulados.



- Siempre es preferible que las estructuras de grandes luces sean simétricas para obtener condiciones equilibradas de carga, pero los perfiles asimétricos pueden resultar útiles para relacionar la estructura con su entorno y contexto, o para alojar un programa funcional concreto. Por ejemplo, dentro de un gran espacio diáfano, la asimetría puede facilitar la orientación de los usuarios en sus desplazamientos y ayudarles a distinguir la derecha de la izquierda.
- La posibilidad de modificar la altura de una estructura de grandes luces puede ayudar a definir e identificar espacios de menor escala dentro del gran espacio diáfano.

Cuestiones constructivas

- Las piezas encargadas de salvar las grandes luces son difíciles de transportar y necesitan un espacio considerable en la obra para su almacenamiento. Su longitud máxima suele ser de 18 m para el transporte por carretera y 24 m por ferrocarril. La anchura máxima para el transporte por autopista es de 4,3 m.
- Debido a las limitaciones en el transporte, normalmente es necesario el montaje en obra de las piezas de mayores dimensiones. Este montaje se suele realizar sobre el plano del suelo, antes de que se coloquen en su posición definitiva mediante una grúa. Por tanto, el peso total de estas piezas es una variable importante a la hora de especificar la capacidad de las grúas que se instalarán en la obra.

En estas dos páginas se listan los rangos de luces que pueden cubrir los tipos básicos de estructuras de grandes luces.

SISTEMAS UNIDIRECCIONALES

Vigas

- Madera — Vigas de madera laminada
- Acero — Perfiles normalizados
  - Perfiles compuestos
- Hormigón — Piezas prefabricadas (en T)

Cerchas

- Madera — Cerchas de canto constante
  - Cerchas triangulares
- Acero — Cerchas de canto constante
  - Cerchas triangulares
  - Cerchas espaciales

Arcos

- Madera — Arcos de madera laminada
- Acero — Arcos de sección compuesta
- Hormigón — Arcos encofrados

Estructuras tensadas

- Acero — Cables tensados

Estructuras laminares

- Madera — Losas encofradas
- Hormigón — Losas encofradas

Estructuras de membrana

- Madera — Bóvedas de lamelas
- Acero — Láminas cilíndricas

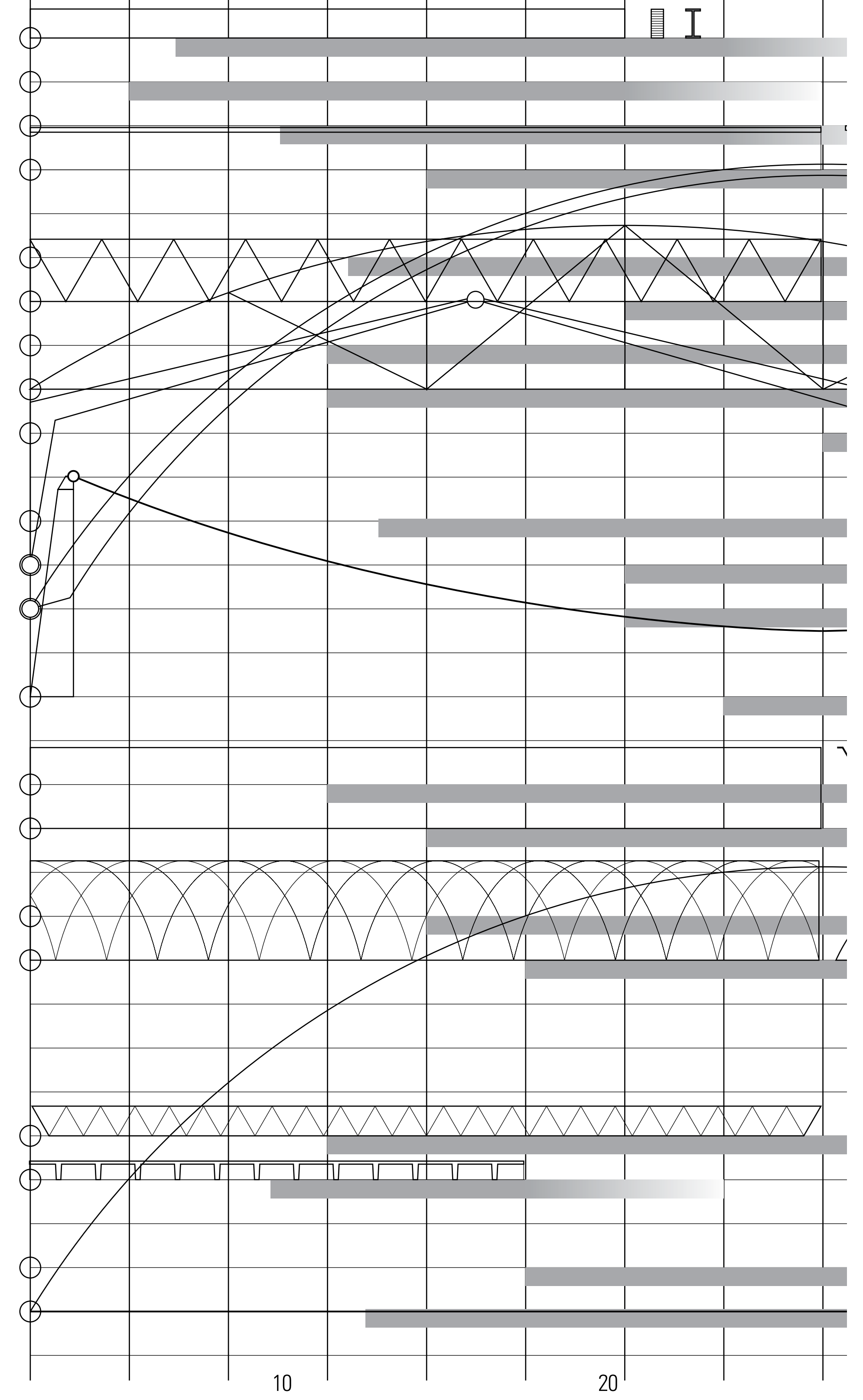
SISTEMAS BIDIRECCIONALES

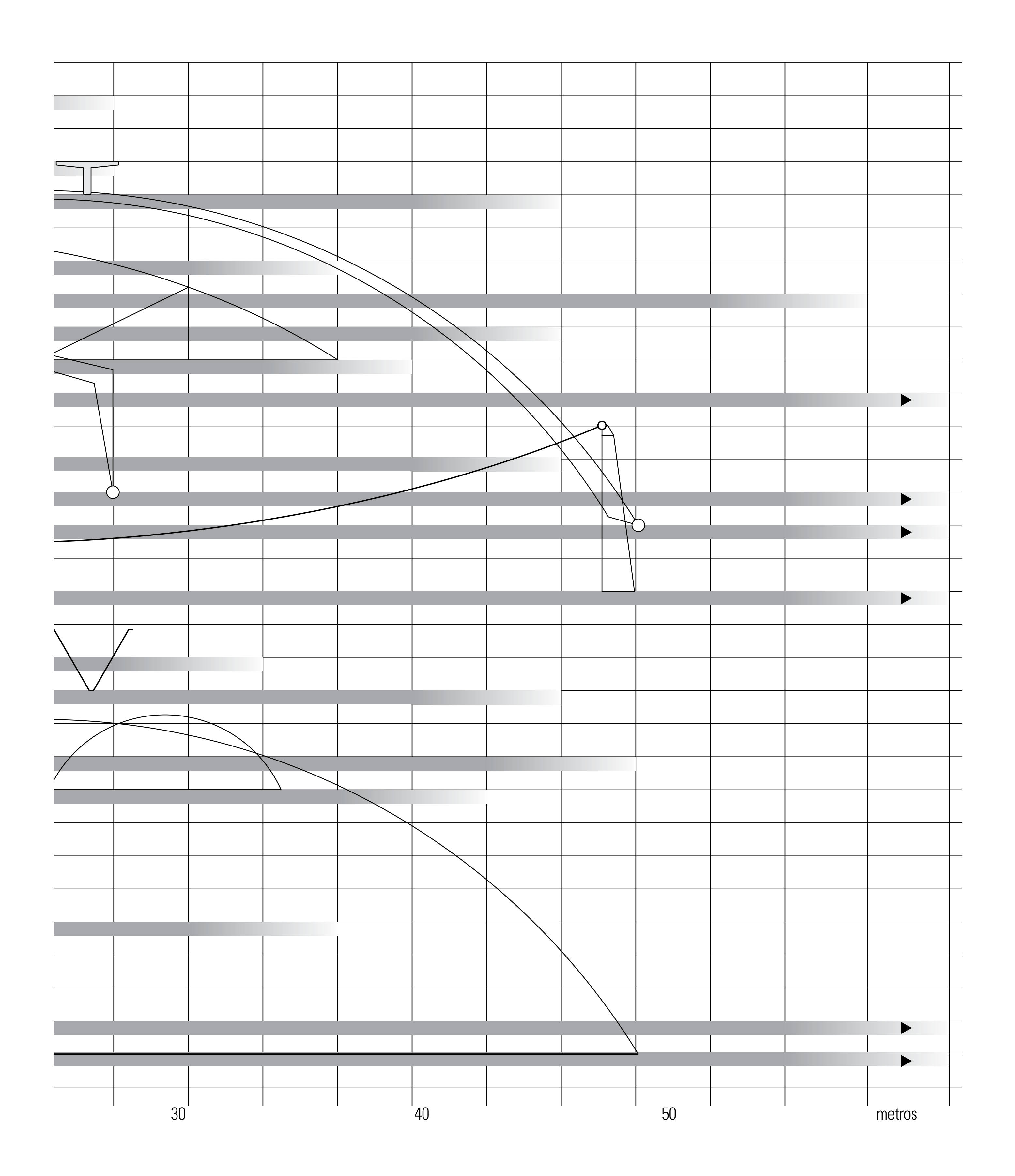
Estructuras laminares

- Acero — Retículas espaciales
- Hormigón — Losas reticulares

Estructuras de membrana

- Acero — Cúpulas nervadas
- Hormigón — Cúpulas

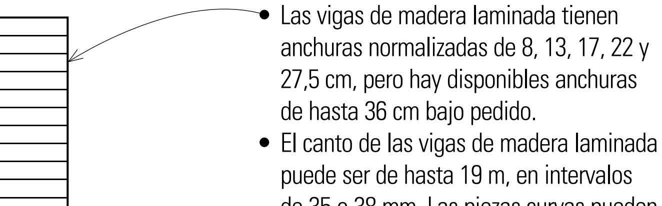



30
40
50
metros

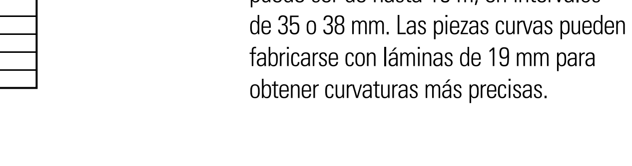
Las estructuras de vigas de canto constante constituyen la solución más adecuada cuando se busca que la estructura ocupe el menor volumen posible respecto de la altura libre deseada. La luz que se puede salvar es directamente proporcional al canto de las vigas que, para cargas normales, debería tener un valor en torno a 1/20 de la luz en el caso de vigas de madera laminada o de perfiles compuestos de acero. Aunque las vigas de alma llena pueden salvar la luz con una mayor esbeltez, presentan el problema de un mayor peso propio que las cerchas o las vigas de alma aligerada, y dificultades para alojar las instalaciones.

Vigas de madera laminada

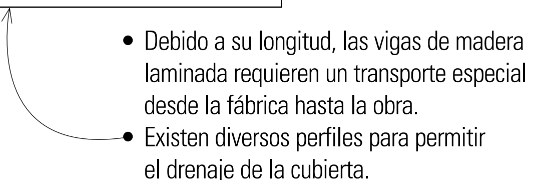
No hay disponibles vigas de madera natural capaces de salvar grandes luces, pero las vigas de madera laminada pueden salvar luces de hasta 24 m. Estas vigas tienen una resistencia superior a la de la madera natural, y pueden fabricarse con grandes secciones transversales y con un perfil curvo o en pendiente.

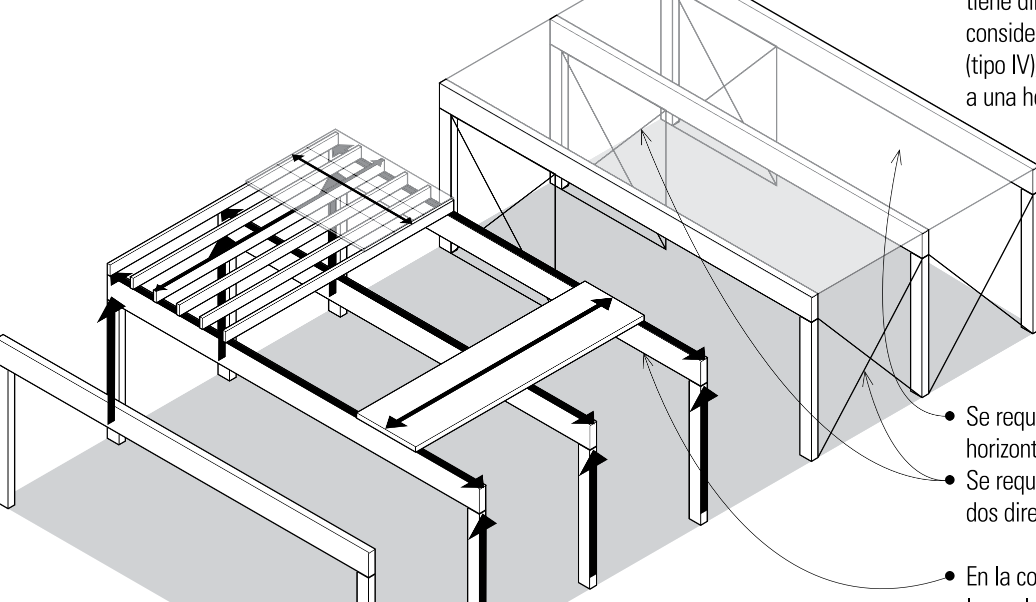


- Las vigas de madera laminada tienen anchuras normalizadas de 8, 13, 17, 22 y 27,5 cm, pero hay disponibles anchuras de hasta 36 cm bajo pedido.
- El canto de las vigas de madera laminada puede ser de hasta 19 m, en intervalos de 35 o 38 mm. Las piezas curvas pueden fabricarse con láminas de 19 mm para obtener curvaturas más precisas.



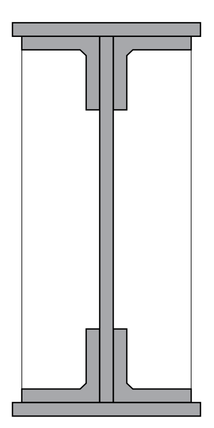
- Debido a su longitud, las vigas de madera laminada requieren un transporte especial desde la fábrica hasta la obra.
- Existen diversos perfiles para permitir el drenaje de la cubierta.
- La sección transversal de las vigas de madera laminada para cubrir grandes luces tiene dimensiones suficientes como para considerarse construcción en madera pesada (tipo IV), lo cual equivale aproximadamente a una hora de resistencia frente al fuego.





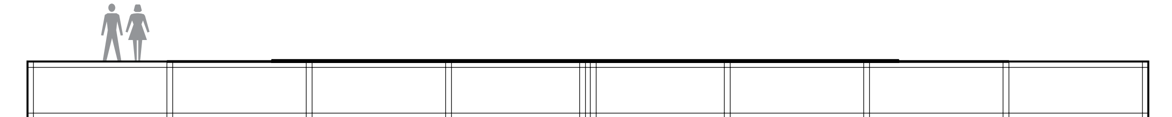
- Se requiere diafragma de arriostramiento horizontal.
- Se requiere arriostramiento vertical en las dos direcciones primarias.

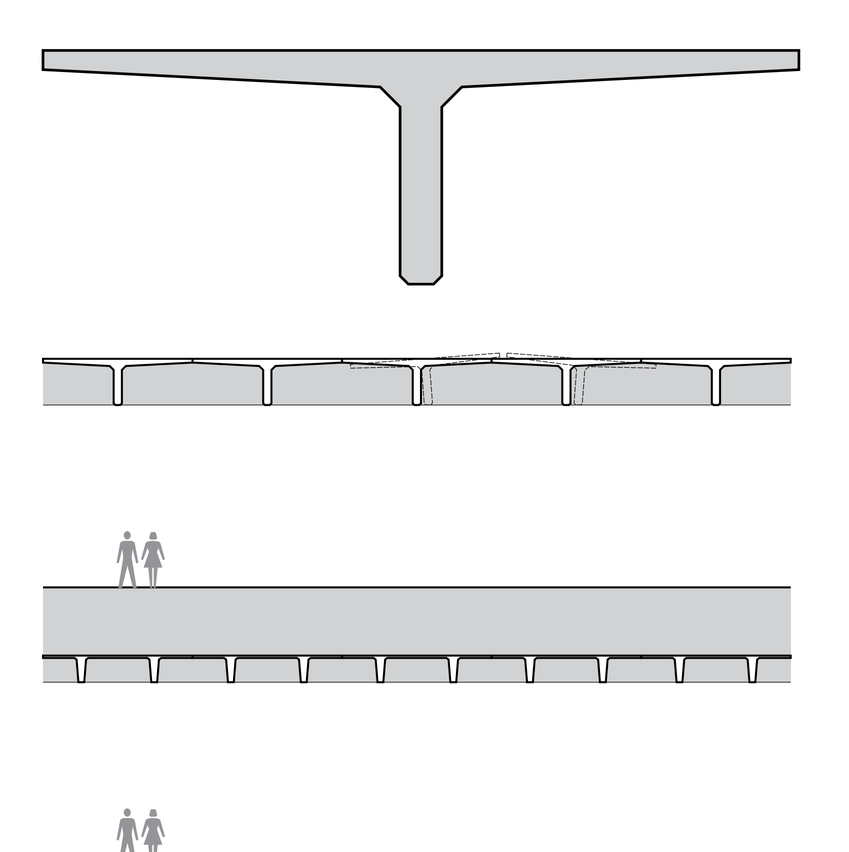
- En la construcción de cubiertas de grandes luces, las vigas de madera laminada se utilizan sobre todo como vigas primarias, sobre las cuales se apoyan viguetas o correas secundarias.



Vigas de acero
Los perfiles normalizados de acero pueden salvar luces de hasta 22 m con cantos de hasta 1,1 m. Pueden cubrirse luces mayores soldando distintos perfiles y pletinas para obtener vigas con un canto mayor.

Estas vigas, ya sean de perfiles normalizados o compuestos, no son especialmente eficientes para salvar grandes luces, ya que la cantidad de material que necesitan para cumplir los requisitos de flexión y deformación resulta excesiva. Suele ser más económico variar el perfil compuesto de la viga para obtener la mayor sección allí donde se da el máximo momento flector, reduciendo la sección donde el momento sea menor, de forma que se reduce el peso propio de la viga al eliminar material allí donde no es necesario. Estas vigas de sección variable también pueden tener pendiente para facilitar el drenaje de las cubiertas.





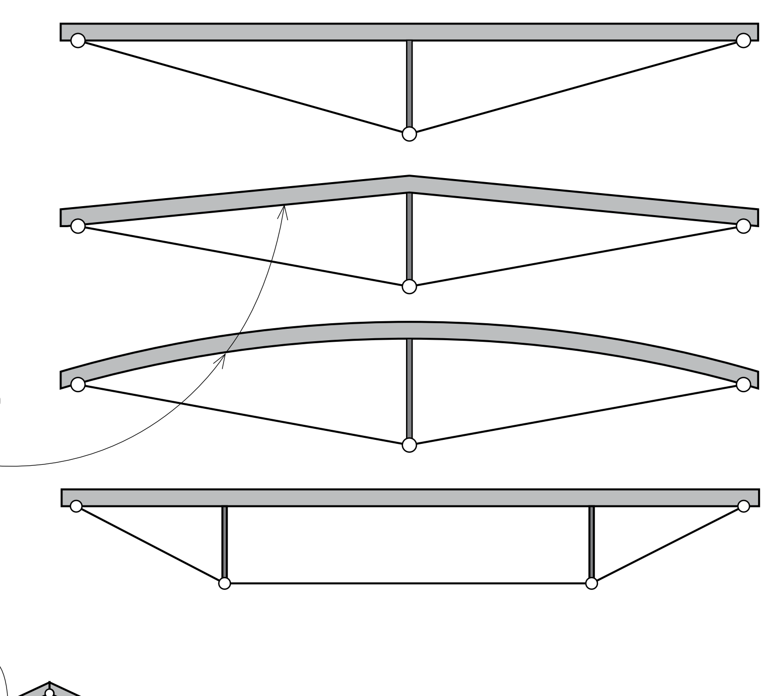
Vigas de hormigón
Los elementos convencionales de hormigón armado pueden utilizarse para salvar grandes luces, pero en estos casos terminan siendo demasiado grandes y voluminosos. Las piezas de hormigón pretensado presentan secciones menores, más ligeras y eficientes, y también menores problemas de fisuración que el hormigón armado convencional.

Los elementos de hormigón pueden pretensarse en fábrica o postensarse en obra. Los elementos prefabricados pretensados requieren una planificación cuidadosa para su transporte y manejo. Una ventaja del postensado en obra de las vigas reside en que no es necesario transportar a obra grandes piezas prefabricadas.

Los elementos prefabricados y pretensados de hormigón armado se fabrican en formas y dimensiones normalizadas. Las piezas más comúnmente empleadas son la sección en T y en doble T. Las dobles T se utilizan habitualmente para luces de hasta 22 m, mientras que las T sencillas se utilizan para salvar luces de hasta 30 m, o incluso más. También es posible fabricar piezas especiales, pero solo resultarán económicas si se va a fabricar un número suficiente de piezas que compense el sobrecoste de los moldes especiales necesarios para su fabricación.

Vigas compuestas

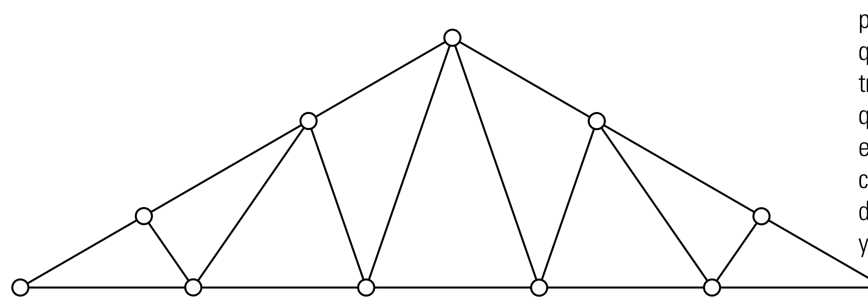
Una viga compuesta es una viga continua, rigidizada por una combinación de montantes a compresión y cables o barras a tracción. Los montantes verticales proporcionan puntos intermedios para la viga, reduciendo sus momentos de flexión, en tanto que la acción de las barras trianguladas aumenta la capacidad portante de la viga.



- Las vigas compuestas son una forma eficiente y relativamente económica de aumentar la capacidad portante y las luces de vigas de acero o madera laminada.
- Pueden utilizarse vigas de canto constante válidas tanto en forjados como en cubiertas, o elementos curvos o con pendiente para mejorar el drenaje de una cubierta.

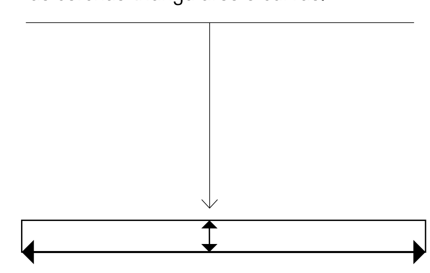
- Se pueden cubrir luces mayores si se combinan estas vigas compuestas para formar arcos triarticulados. Puesto que los arcos triarticulados desarrollan empujes horizontales (véase pág. 234) es necesario disponer contrafuertes o tirantes en cada apoyo para resistirlos.

- Se requieren sistemas verticales de arriostramiento en dos direcciones.



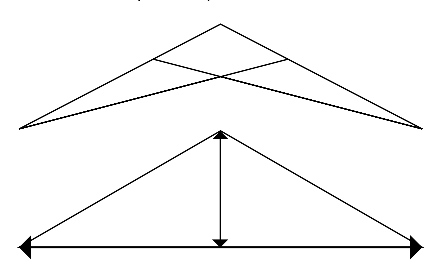
Las cerchas o vigas de celosía son elementos formados por barras simples, unidas entre sí mediante articulaciones que forman una malla triangulada. Cada una de las barras trabaja exclusivamente a tracción o compresión, mientras que los momentos flectores se resuelven mediante esfuerzos combinados de compresión y tracción en los cordones superior e inferior de la cercha. Los esfuerzos de cortante se transmiten a través de las barras verticales y diagonales.

- Las vigas de celosía o cerchas de canto constante tienen cordones paralelos. Estas cerchas no suelen ser tan eficientes como las cerchas triangulares o curvas.



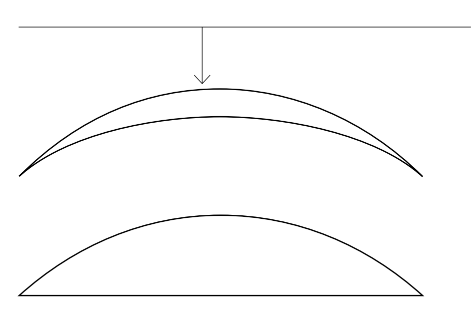
- Rango de luces para vigas de celosía: hasta 37 m.
- Rango de cantos para vigas de celosía: entre luz/10 y luz/15.

- Las cerchas en tijera tienen barras a tracción que unen el arranque de cada cordón superior con un punto intermedio el cordón superior opuesto.

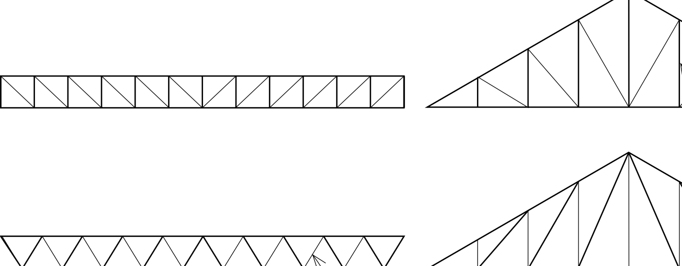


- Rango de luces de cerchas triangulares: hasta 46 m.
- Rango de cantos para cerchas triangulares: entre luz/6 y luz/10.

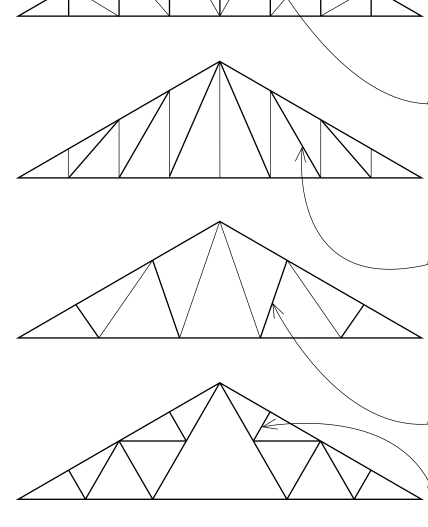
- Las cerchas en lúnula tienen ambos cordones curvos, elevándose a partir de un punto común en cada lado.



- Las cerchas de arco tienen el cordón superior curvo que se encuentra en los extremos con el cordón inferior recto.



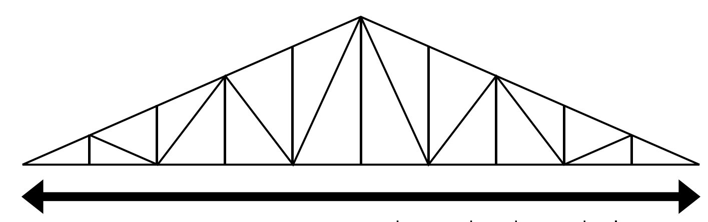
- Las vigas Warren tienen todas las barras interiores inclinadas formando triángulos equiláteros. A veces se introducen montantes verticales para reducir la longitud del cordón superior, sometido a compresión.



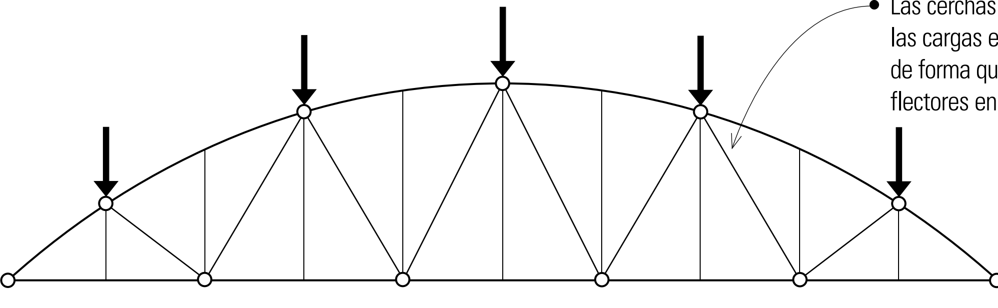
- Las vigas Pratt tienen montantes verticales a compresión y barras diagonales a tracción. Por lo general, resulta más eficiente utilizar un tipo de cercha en el cual las barras más largas estén sometidas a tracción.
- Las vigas Howe tienen montantes verticales a compresión y barras diagonales también a compresión.

- Las cerchas belgas solo tienen barras interiores inclinadas.
- Las armaduras Fink son una variante de la cercha belga que cuenta con subdiagonales para reducir la longitud de las barras comprimidas en la parte central de la luz.

Las cerchas hacen un uso más económico del material y resultan más eficientes que las vigas macizas a la hora de salvar grandes luces, pero su fabricación es relativamente costosa debido al gran número de conexiones y a la complejidad de las uniones. Resultan más económicas cuando se trata de salvar luces de 30 m o más, y funcionan como elementos portantes primarios donde apoyen cerchas o vigas secundarias.



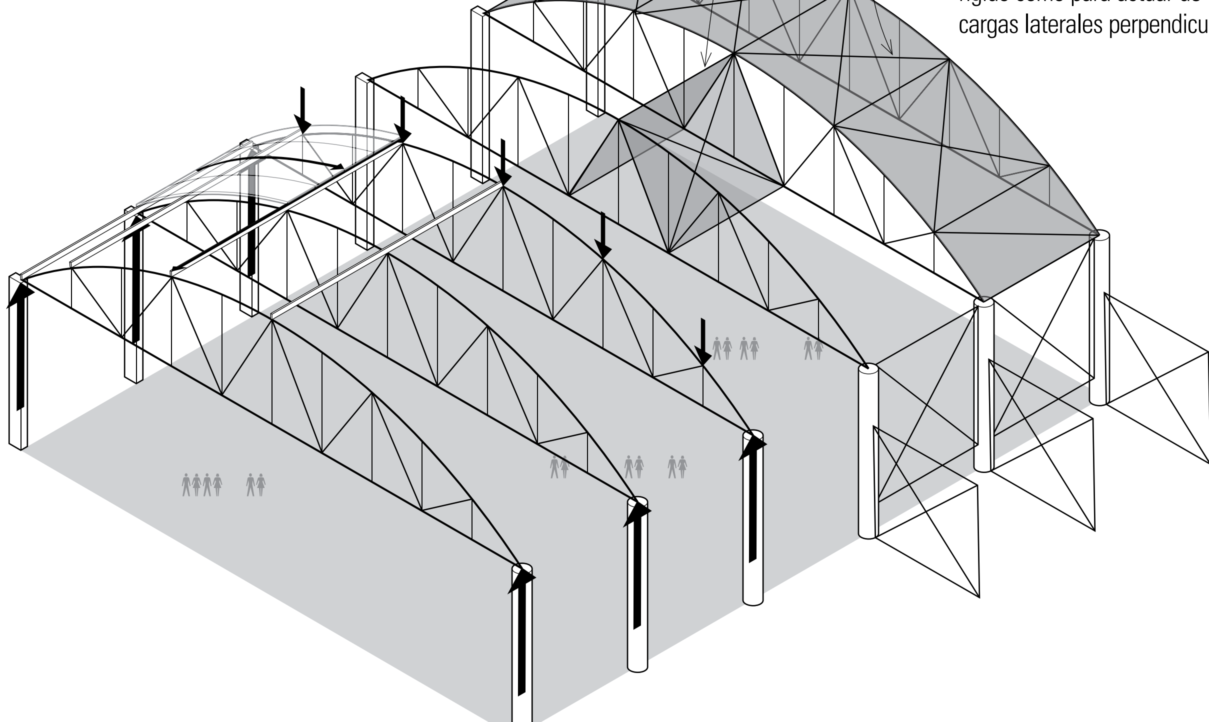
- Las cerchas de grandes luces se utilizan principalmente en estructuras de cubierta. En forjados, se utilizan cerchas de cordones paralelos, (vigas de celosía).
- Las cerchas resultan más eficaces cuando las cargas están aplicadas sobre los nudos, de forma que se reducen al mínimo los momentos flectores en las barras individuales.

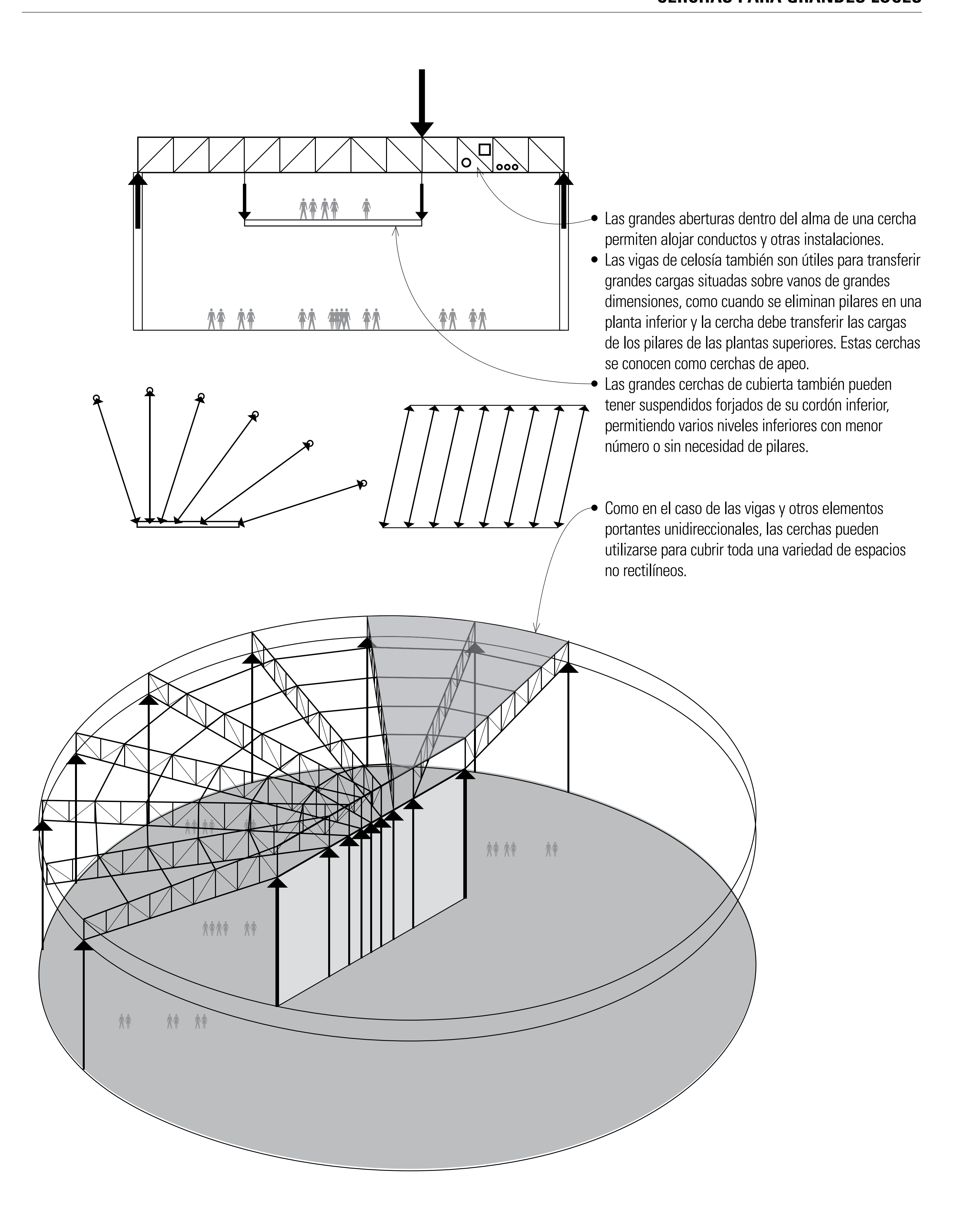


- La distancia entre las cerchas principales depende de la capacidad a flexión de los elementos del entramado secundario en perpendicular al plano de las cerchas. Las distancias más habituales suelen ser de entre 1,8 y 9 m entre ejes.

- La distancia entre elementos secundarios viene condicionada por la posición de los nudos de la cercha, en los cuales deben apoyarse para poder transmitir las cargas a la misma.

- Puede ser necesario disponer una triangulación vertical entre los cordones superior e inferior de cerchas contiguas para prevenir el riesgo de balanceo y asumir las cargas laterales sísmicas y de viento.
- Los cordones superiores deberían estar rigidizados para evitar el pandeo; para ello pueden aprovecharse los elementos del entramado secundario, o disponer barras diagonales.
- Puede ser necesario disponer diagonales en el plano del cordón superior o inferior en caso de que el plano de la cubierta no sea lo bastante rígido como para actuar de diafragma frente a cargas laterales perpendiculares a las cerchas.





- Las grandes aberturas dentro del alma de una cercha permiten alojar conductos y otras instalaciones.
- Las vigas de celosía también son útiles para transferir grandes cargas situadas sobre vanos de grandes dimensiones, como cuando se eliminan pilares en una planta inferior y la cercha debe transferir las cargas de los pilares de las plantas superiores. Estas cerchas se conocen como cerchas de apeo.
- Las grandes cerchas de cubierta también pueden tener suspendidos forjados de su cordón inferior, permitiendo varios niveles inferiores con menor número o sin necesidad de pilares.

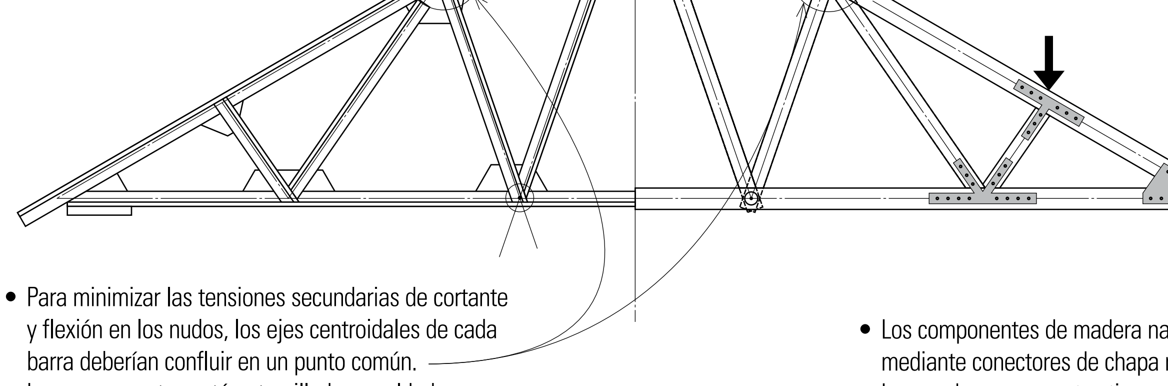
- Como en el caso de las vigas y otros elementos portantes unidireccionales, las cerchas pueden utilizarse para cubrir toda una variedad de espacios no rectilíneos.

Las cerchas se construyen habitualmente de madera, acero y, en ocasiones, una combinación de madera y acero. Debido a su peso, el hormigón rara vez se emplea en cerchas. La decisión de utilizar madera o acero depende del aspecto deseado, la compatibilidad con el entramado y el revestimiento de la cubierta, así como de los requisitos de seguridad.

Cerchas de acero
Las cerchas de acero se fabrican por lo general soldando o atornillando una serie de ángulos y perfiles en T. Debido a la esbeltez de cada uno de estos elementos, las conexiones normalmente necesitan placas de refuerzo. Para las cerchas de acero de mayor tamaño pueden utilizarse perfiles laminados y tubos estructurales.

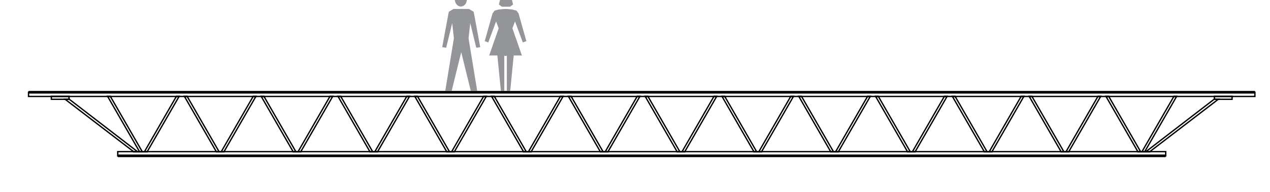


Cerchas de madera
A diferencia de los pares compuestos por entramados triangulados planos, las cerchas de madera de mayor envergadura pueden construirse con varios niveles de componentes, que se unen en los nudos mediante conectores metálicos especiales. Estas cerchas de madera pueden soportar mayores cargas que los pares compuestos y, por ello, pueden situarse más distanciadas entre sí.



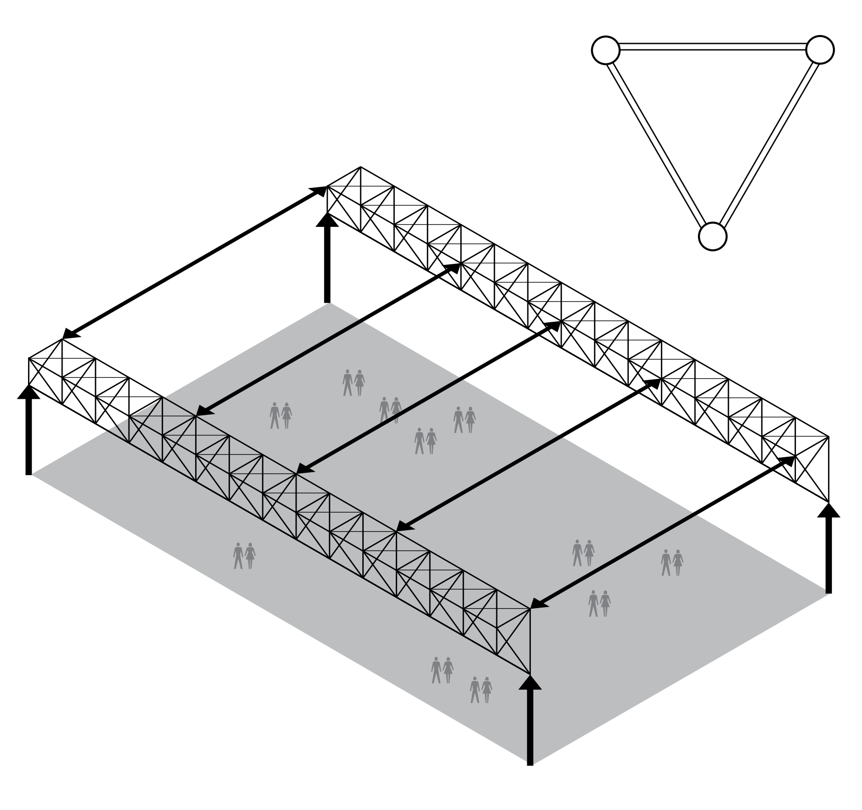
- Para minimizar las tensiones secundarias de cortante y flexión en los nudos, los ejes centroidales de cada barra deberían confluir en un punto común.
- Los componentes están atornillados o soldados a una placa de conexión.
- Cualquier barra interior debería conectar con el cordón superior o inferior en uno de los nudos.
- Al estar dimensionada en función del pandeo, la sección transversal de las barras comprimidas será siempre mayor que la de las barras sometidas a tracción. Resulta preferible que las barras más cortas trabajen a compresión y las más largas a tracción.

- Los componentes de madera natural pueden unirse mediante conectores de chapa metálica.
- Las cerchas compuestas tienen barras de madera que trabajan a compresión y de acero a tracción.
- Las dimensiones de cada barra y los detalles de las uniones vienen definidos por el cálculo estructural, en función del tipo de cercha, la distribución de la carga, la luz y el grado y la especie de la madera empleada.



Vigas en celosía
- Las vigas en celosía prefabricadas que se comercializan en madera o acero son mucho más ligeras que las cerchas corrientes, y pueden de salvar luces de hasta 37 m.
- Las vigas en celosía compuestas tiene cordones superiores e inferiores de madera y una malla de tubos en diagonal. Estas vigas compuestas son aptas para luces de 18 m, con cantos de 0,8 a 1,2 m. Otras vigas en celosía más pesadas tienen cantos de 0,9 a 1,5 m.

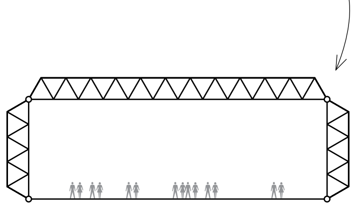
- Las series LH y DLH de viguetas trianguladas de acero resultan una opción adecuada para casos de grandes luces. La serie LH permite el apoyo directo de paneles de forjado y de cubierta, mientras que la serie DLH solo permite el apoyo directo de paneles de cubierta.
- Las viguetas de la serie LH presentan cantos entre 81 y 122 cm para cubrir luces de entre 18 y 30 m. Los rangos de la serie DLH se sitúan entre 132 y 183 cm de canto y luces de entre 18,3 y 42,7 m.

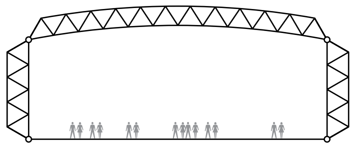


Cerchas espaciales

Una cercha espacial es una estructura unidireccional que puede visualizarse como dos cerchas planas que comparten el cordón inferior, y cuyos dos cordones superiores se encuentran a su vez unidos entre sí mediante un tercer entramado. Esta cercha tridimensional es capaz de resistir cargas verticales, horizontales e incluso de torsión.

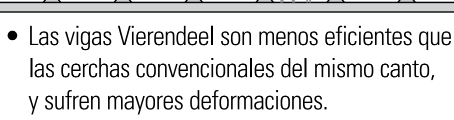
- Las cerchas espaciales pueden utilizarse para salvar grandes luces, con una amplia gama de formas de cubierta. Los momentos de flexión y las flechas pueden mantenerse bajo control si se ajusta el canto de la cercha en los puntos críticos.





- El canto de las cerchas espaciales se sitúa en el rango entre 1/5 y un 1/15 de la luz, dependiendo de la carga tributaria que deba asumir y de la magnitud de la flecha admisible.

- La distancia entre cerchas espaciales depende de la capacidad a flexión de los componentes secundarios. Las cargas transmitidas por los elementos secundarios deben situarse en los nudos de la cercha, para evitar que se produzcan momentos de flexión en sus barras.



- Las vigas Vierendeel son menos eficientes que las cerchas convencionales del mismo canto, y sufren mayores deformaciones.
- La mayoría de las vigas Vierendeel tienen un canto equivalente a la altura de una planta, de forma que la ausencia de diagonales permite utilizarlas en aquellos vanos donde es necesaria la circulación a través de la estructura.

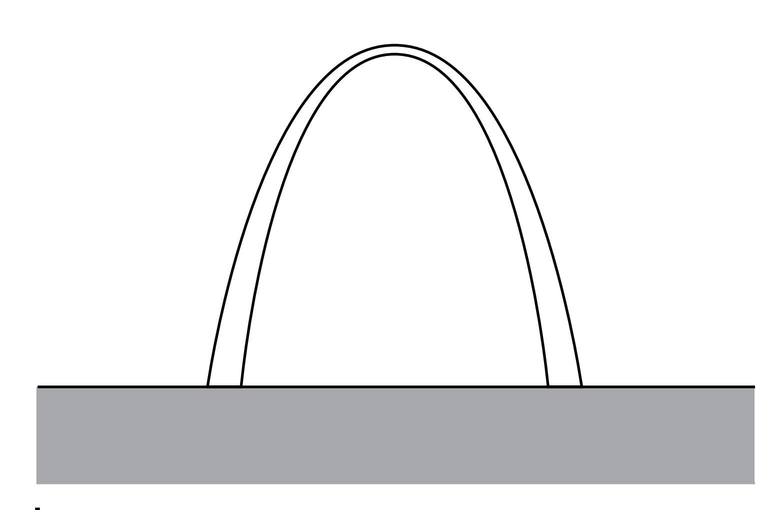
Vigas Vierendeel

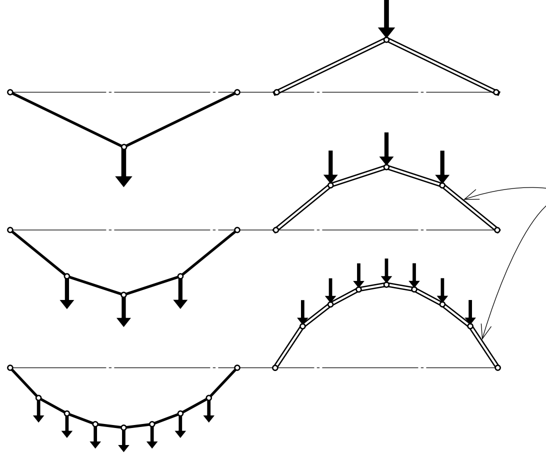
Una viga o cercha Vierendeel tiene montantes verticales unidos rígidamente a los cordones superior e inferior. No puede considerarse estrictamente como una cercha debido a la ausencia de diagonales, y su comportamiento estructural es el de un pórtico rígido. Al igual que en una cercha, los cordones superior e inferior están sometidos respectivamente a esfuerzos de compresión y tracción; sin embargo, debido a la ausencia de diagonales, los cordones también deben resistir esfuerzos de flexión y de cortante, generados en los nudos entre los cordones y los montantes verticales.

Los arcos están diseñados para soportar cargas verticales principalmente mediante compresión axial. Aprovechan su forma curvilínea para transformar las cargas verticales en componentes inclinados y transmitirlos a los contrafuertes situados en cada lado del arco.

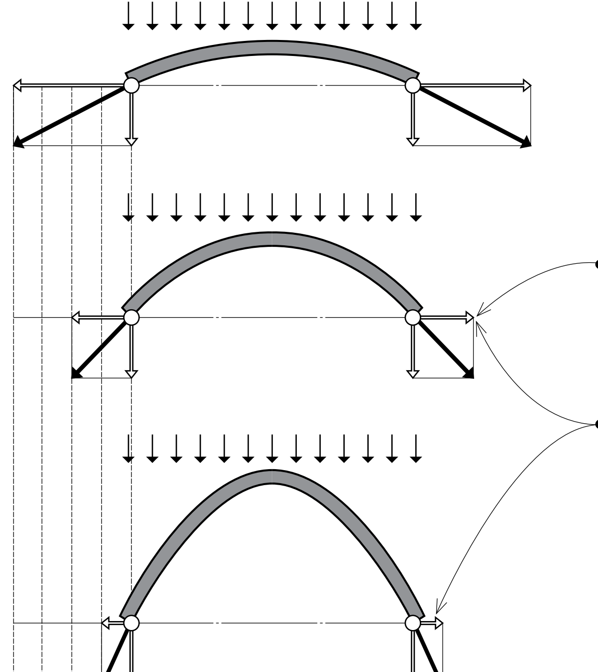
Arcos empotrados

Un arco empotrado está diseñado como un elemento continuo y conectado rígidamente a sus dos soportes. El arco debe diseñarse para resistir momentos de flexión a lo largo de su longitud y en sus dos apoyos. Por lo general, la forma del arco empotrado mostrará una mayor sección en los soportes, con un progresivo adelgazamiento hacia la clave. Los arcos empotrados suelen estar construidos de hormigón armado pretensado o de secciones de acero.

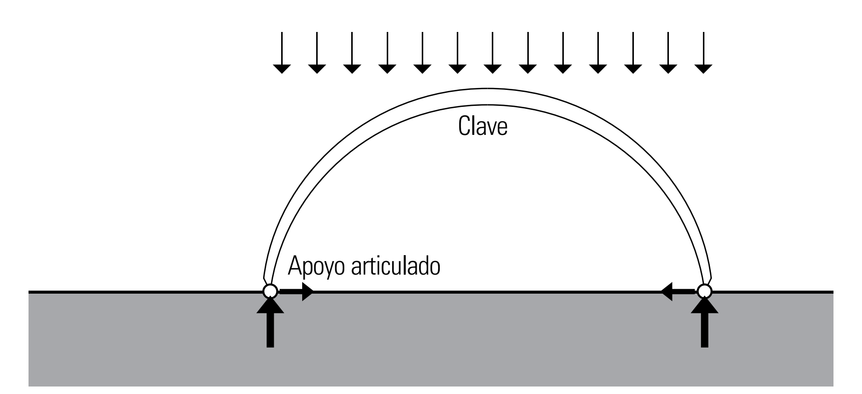




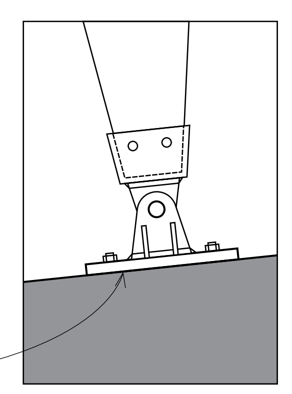
- Aunque los arcos circulares son normalmente más fáciles de construir, los arcos funiculares están sometidos a los menores esfuerzos de flexión.
- Un arco funicular es aquel cuya forma se adapta al recorrido de las cargas, de manera que solo soporta esfuerzos de compresión. Se puede calcular invirtiendo la forma funicular de un cable que deba sostener la misma distribución de cargas.
- No existe una única forma funicular para un arco, sino que depende de las posibles condiciones de carga. Si se modifica el patrón de cargas para el cual está calculado un arco funicular, este quedaría sometido a esfuerzos de flexión.



- El empuje se refiere a cualquiera de las fuerzas que tienden a desplazar los apoyos de un arco hacia afuera, debido al componente horizontal de las cargas aplicadas. El empuje de un arco debe contrarrestarse mediante tirantes o contrafuertes.
- La magnitud del empuje producido es mayor en el caso de los arcos más tendidos (menor relación altura/luz) y menor en el caso de los arcos más peraltados (mayor relación altura/luz).



- Debido a que no se producen momentos en las articulaciones, la sección transversal del arco puede ser menor, mientras que en la clave o parte superior del arco las flexiones son máximas y se requiere una sección mayor.
- Las cargas verticales se transfieren a los miembros de un pórtico rígido mediante una combinación de compresión y flexión. Sin embargo, puesto que el pórtico se comporta hasta cierto punto como un arco, se produce un empuje horizontal en los apoyos. Para resistir estos empujes son necesarios contrafuertes o tirantes.



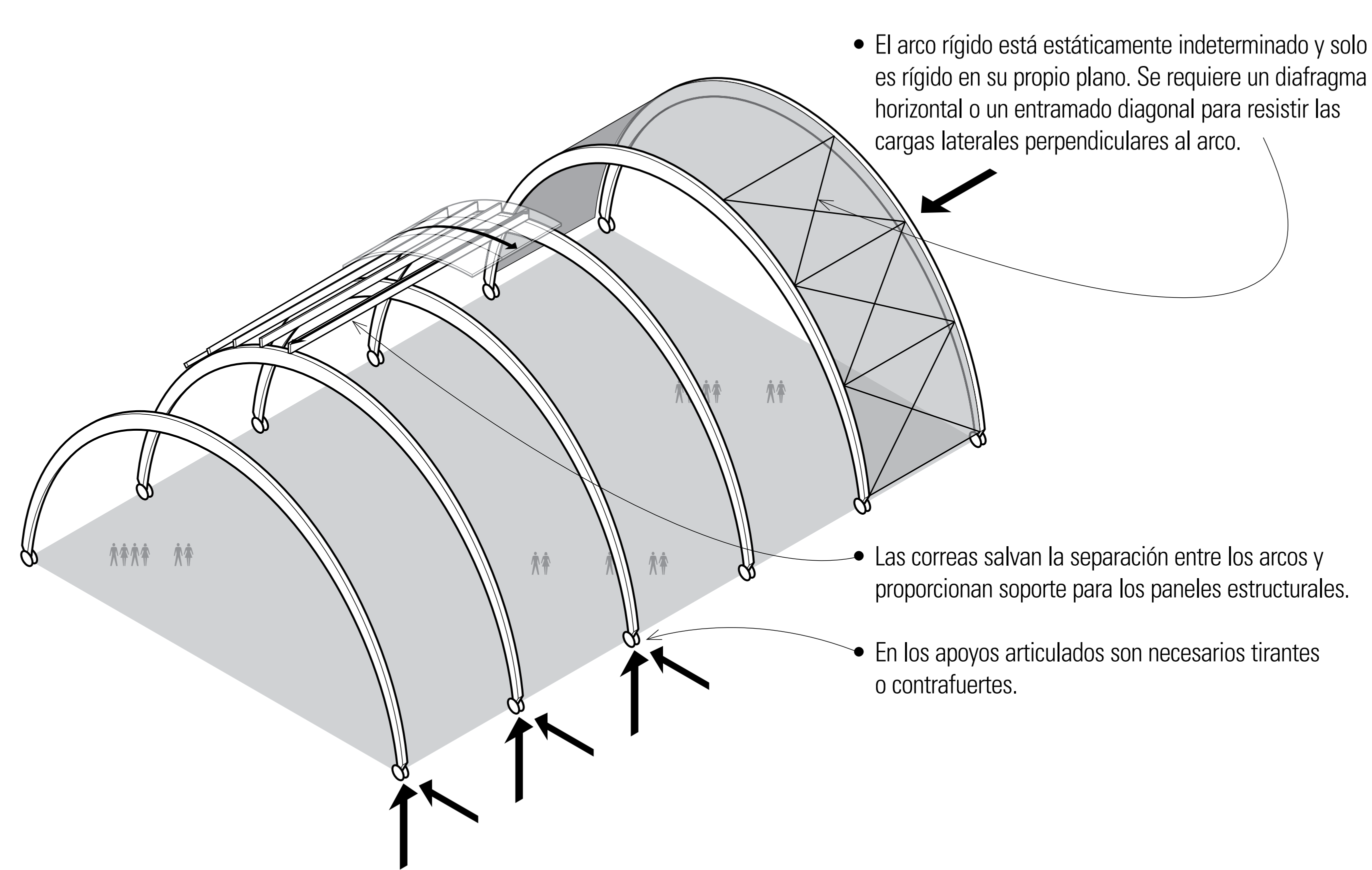
Arcos rígidos

Estos arcos son estructuras curvas rígidas de madera, acero u hormigón armado, capaces de soportar ciertos esfuerzos de flexión. Su comportamiento estructural se parece al de los pórticos rígidos. La geometría de las curvas que reemplazan los segmentos rectos del pórtico rígido adintelado no solo afectan al coste de la construcción, sino también a las tensiones resultantes en cada uno de los elementos del pórtico, pues no es posible trazar un único arco funicular para todas las posibles condiciones de carga.

Arcos biarticulados

Estos arcos están diseñados como estructuras continuas, con dos articulaciones en sus apoyos. Las articulaciones evitan que se generen grandes esfuerzos de flexión, permiten que el arco rote ligeramente como una unidad cuando entra en carga, y que se flexione mínimamente cuando se dilate o contraiga por cambios de temperatura. Generalmente están diseñados para ser más gruesos en la clave, permitiendo cierta holgura para el recorrido de las cargas que permita reducir la magnitud de los momentos flectores y reteniendo la forma de arco. Para la construcción de arcos biarticulados se han empleado sistemas y materiales tan diversos como madera laminada, secciones prefabricadas de acero, cerchas de madera o acero y hormigón armado.

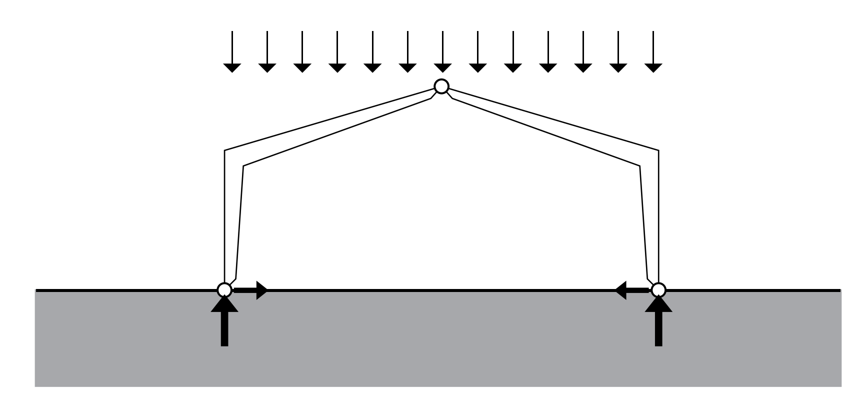
- El arco rígido está estáticamente indeterminado y solo es rígido en su propio plano. Se requiere un diafragma horizontal o un entramado diagonal para resistir las cargas laterales perpendiculares al arco.



- Las correas salvan la separación entre los arcos y proporcionan soporte para los paneles estructurales.
- En los apoyos articulados son necesarios tirantes o contrafuertes.

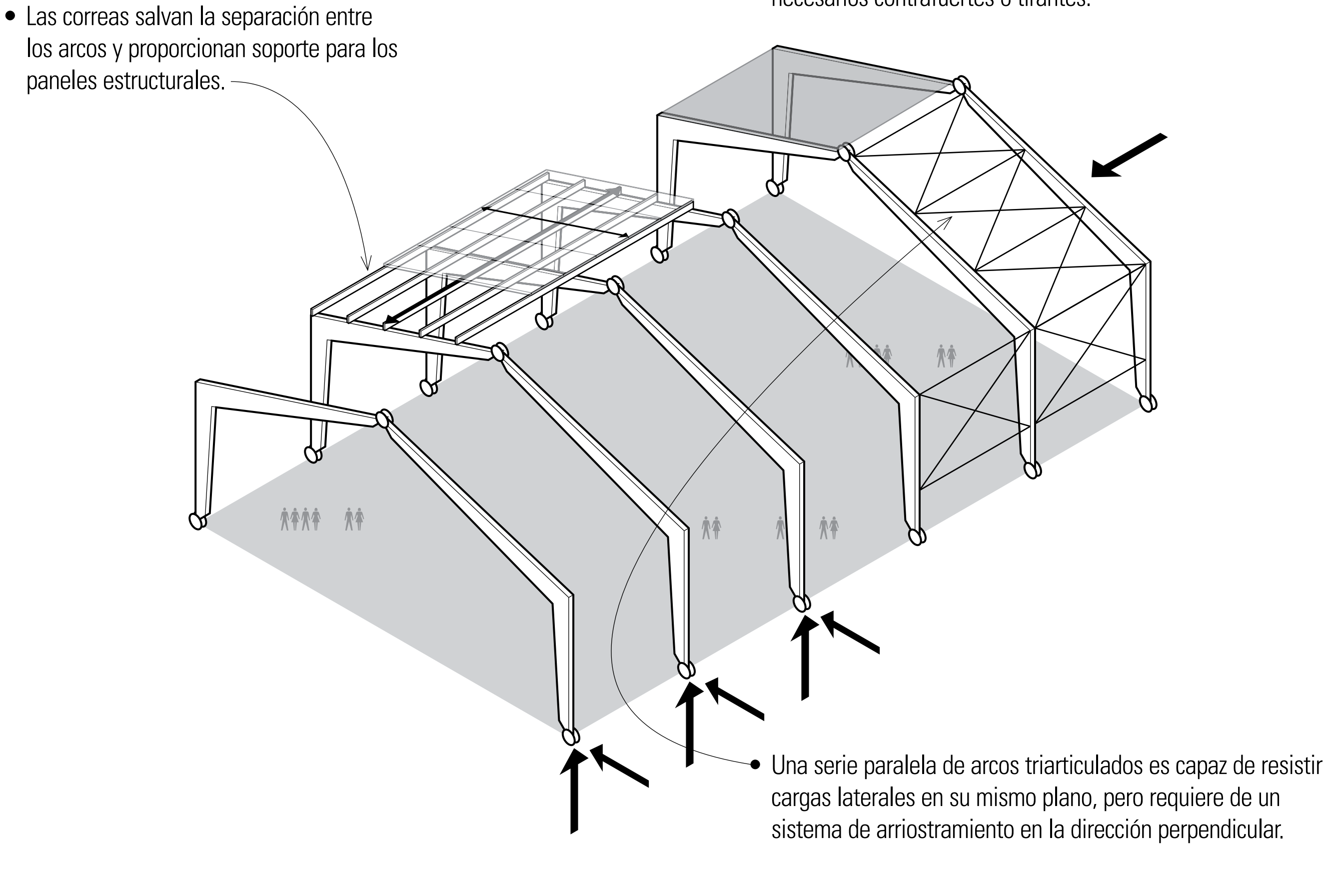
Arcos triarticulados
Los arcos triarticulados son estructuras compuestas por la unión de dos secciones rígidas, conectadas entre sí en la clave del arco y articuladas en su base. Aunque son más sensibles a la flexión que los arcos empotrados o biarticulados, los arcos triarticulados se ven menos afectados por los asientos en los soportes o los cambios de temperatura. Una ventaja de los arcos triarticulados sobre los arcos biarticulados es la facilidad para fabricarlos a partir de dos o más partes rígidas, que pueden posteriormente transportarse a la obra, donde se unen y se ponen en posición.

- Los arcos de madera laminada pueden salvar luces de entre 30 y 75 m, con un canto de aproximadamente 1/40 de la luz.
- Los arcos de acero pueden salvar luces superiores a 150 m, especialmente si se trata de sistemas de barras trianguladas. El canto se sitúa entre 1/50 y un 1/100 de la luz.
- Los arcos de hormigón pueden salvar luces de hasta 90 m con un canto de alrededor de 1/50 de la luz.



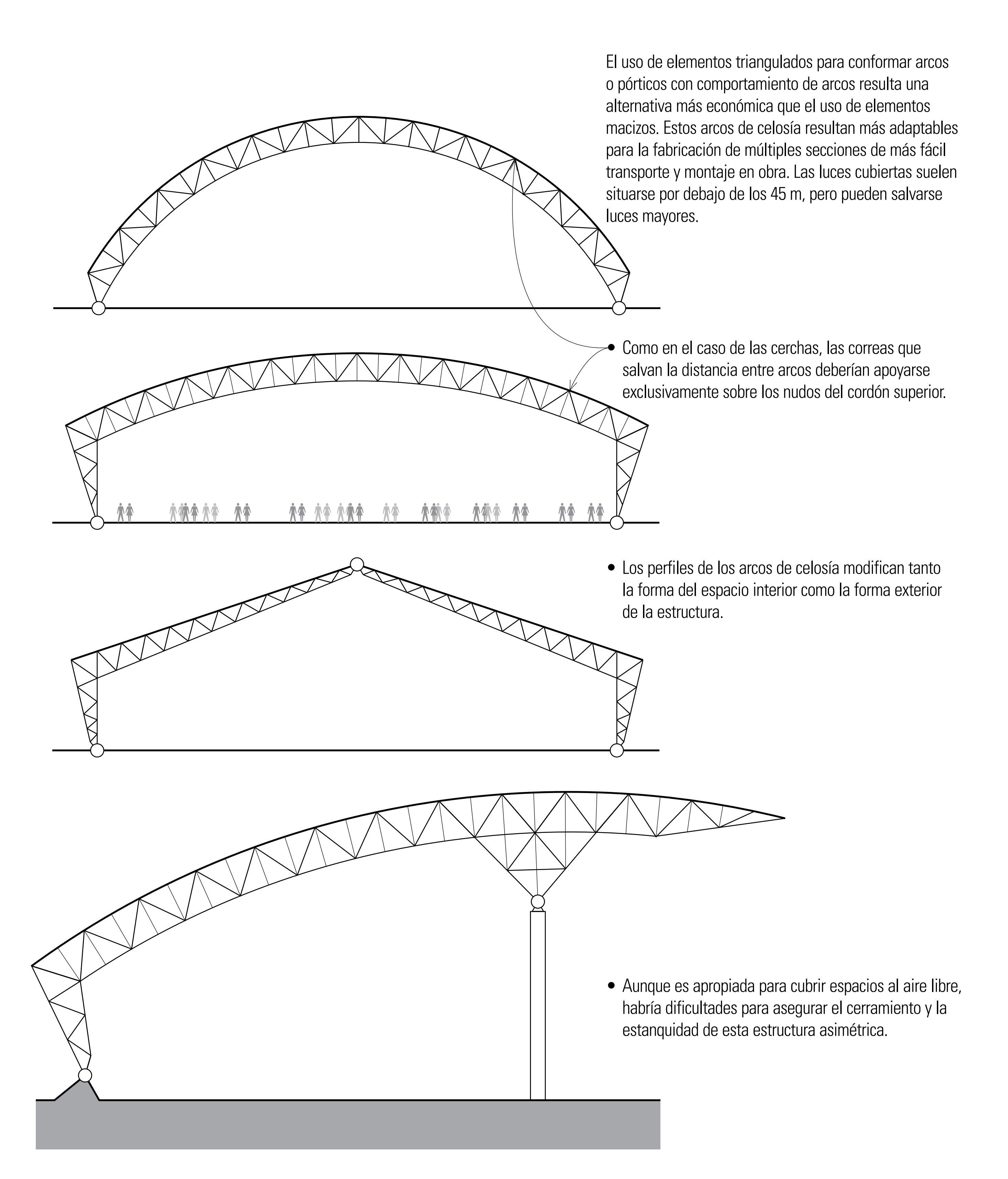
- Los arcos de grandes luces se comportan como pórticos rígidos y pueden presentar formas de arco o adinteladas.
- Las cargas aplicadas producen esfuerzos axiales, flectores y de cortante en todos los miembros de un pórtico rígido, debido a que los nudos rígidos restringen el giro de los extremos de cada elemento.
- Las cargas verticales se transfieren a los elementos verticales de un pórtico rígido a través de una combinación de compresión y flexión, pero en la medida en que el pórtico se comporta como un arco, se producen también empujes horizontales en sus apoyos. Para resistir estos empujes son necesarios contrafuertes o tirantes.

- Las correas salvan la separación entre los arcos y proporcionan soporte para los paneles estructurales.



- Una serie paralela de arcos triarticulados es capaz de resistir cargas laterales en su mismo plano, pero requiere de un sistema de arriostramiento en la dirección perpendicular.

El uso de elementos triangulados para conformar arcos o pórticos con comportamiento de arcos resulta una alternativa más económica que el uso de elementos macizos. Estos arcos de celosía resultan más adaptables para la fabricación de múltiples secciones de más fácil transporte y montaje en obra. Las luces cubiertas suelen situarse por debajo de los 45 m, pero pueden salvarse luces mayores.

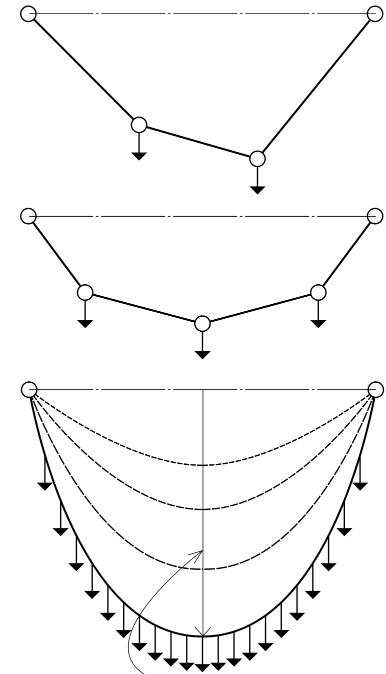


- Como en el caso de las cerchas, las correas que salvan la distancia entre arcos deberían apoyarse exclusivamente sobre los nudos del cordón superior.

- Los perfiles de los arcos de celosía modifican tanto la forma del espacio interior como la forma exterior de la estructura.

- Aunque es apropiada para cubrir espacios al aire libre, habría dificultades para asegurar el cerramiento y la estanquidad de esta estructura asimétrica.

Las estructuras tensadas utilizan cables como medios principales de soporte. Debido a que los cables presentan una alta resistencia a tracción, pero ninguna a compresión o flexión, deben trabajar estrictamente a tracción. Cuando están sometidos a cargas puntuales, la forma del cable consiste en un conjunto de tramos rectos. Bajo una carga continua, asumirá la forma de un arco invertido.



- Una forma funicular es aquella que adopta un cable libremente deformable como respuesta directa a unas cargas externas de unas determinadas magnitudes y puntos de aplicación. Un cable siempre adapta su forma bajo la acción de cualquier carga externa, para trabajar exclusivamente a tracción.
- Una catenaria es la curva que adopta un cable uniforme y perfectamente flexible, suspendido desde dos puntos situados a la misma altura. Para una carga uniformemente distribuida en proyección horizontal, la curva se aproxima a la de una parábola.

- Las estructuras de cable sencillo deben diseñarse cuidadosamente frente a la succión producida por las ráfagas y los remolinos de viento. Las sacudidas y las vibraciones suponen problemas muy serios para las relativamente ligeras estructuras tensadas.

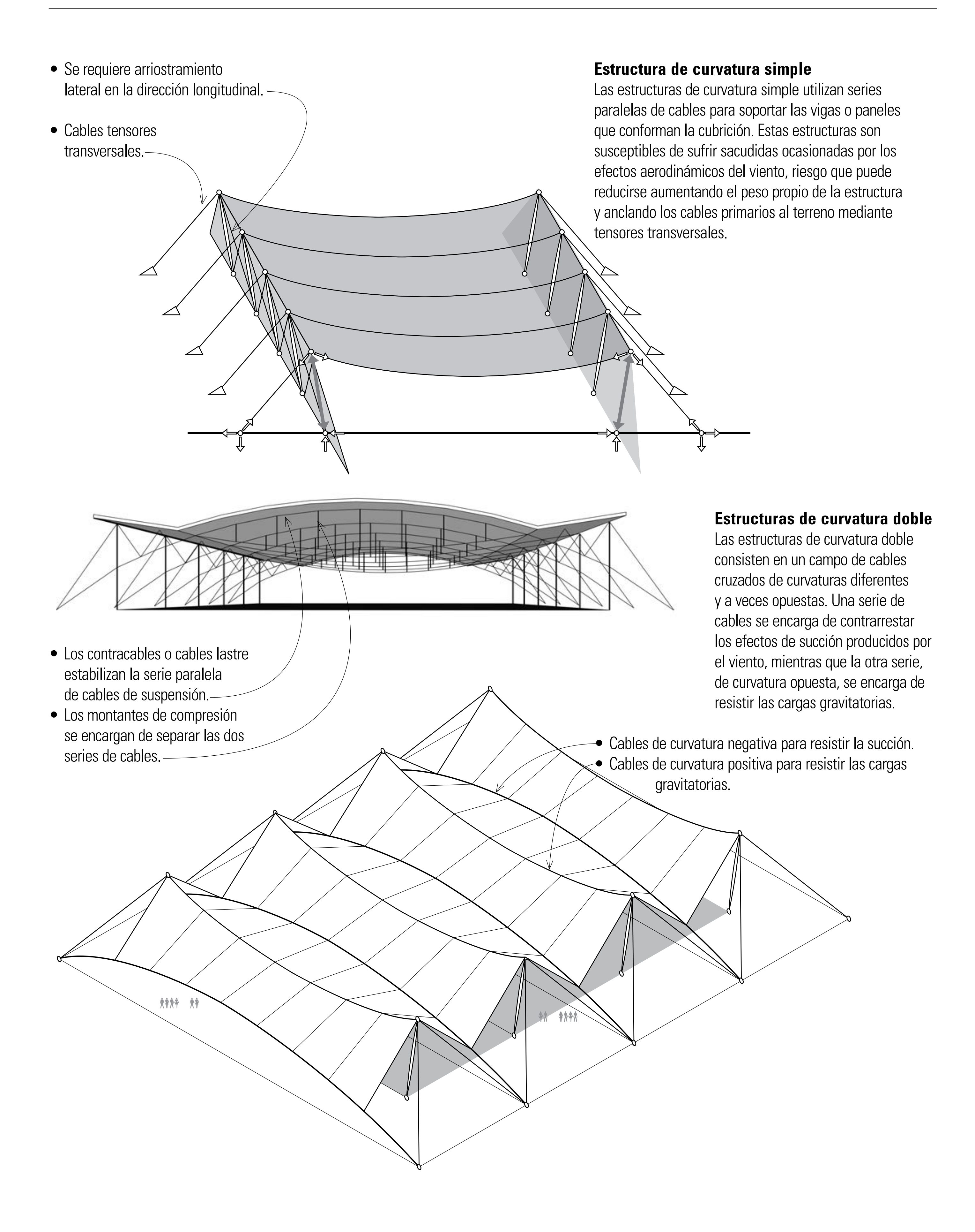
- El descuelgue se refiere a la distancia vertical entre los apoyos y el punto más bajo de la estructura tensada. Conforme aumenta este, disminuyen los esfuerzos internos desarrollados en el cable. Las estructuras tensadas tienen una relación descuelgue/luz entre 1/8 y 1/10.

- Las estructuras de doble cable tienen dos series de cables, superior e inferior, de diferentes curvaturas, pretensadas mediante anclajes o mástiles para rigidizar el sistema y hacerlo resistente a las sacudidas.

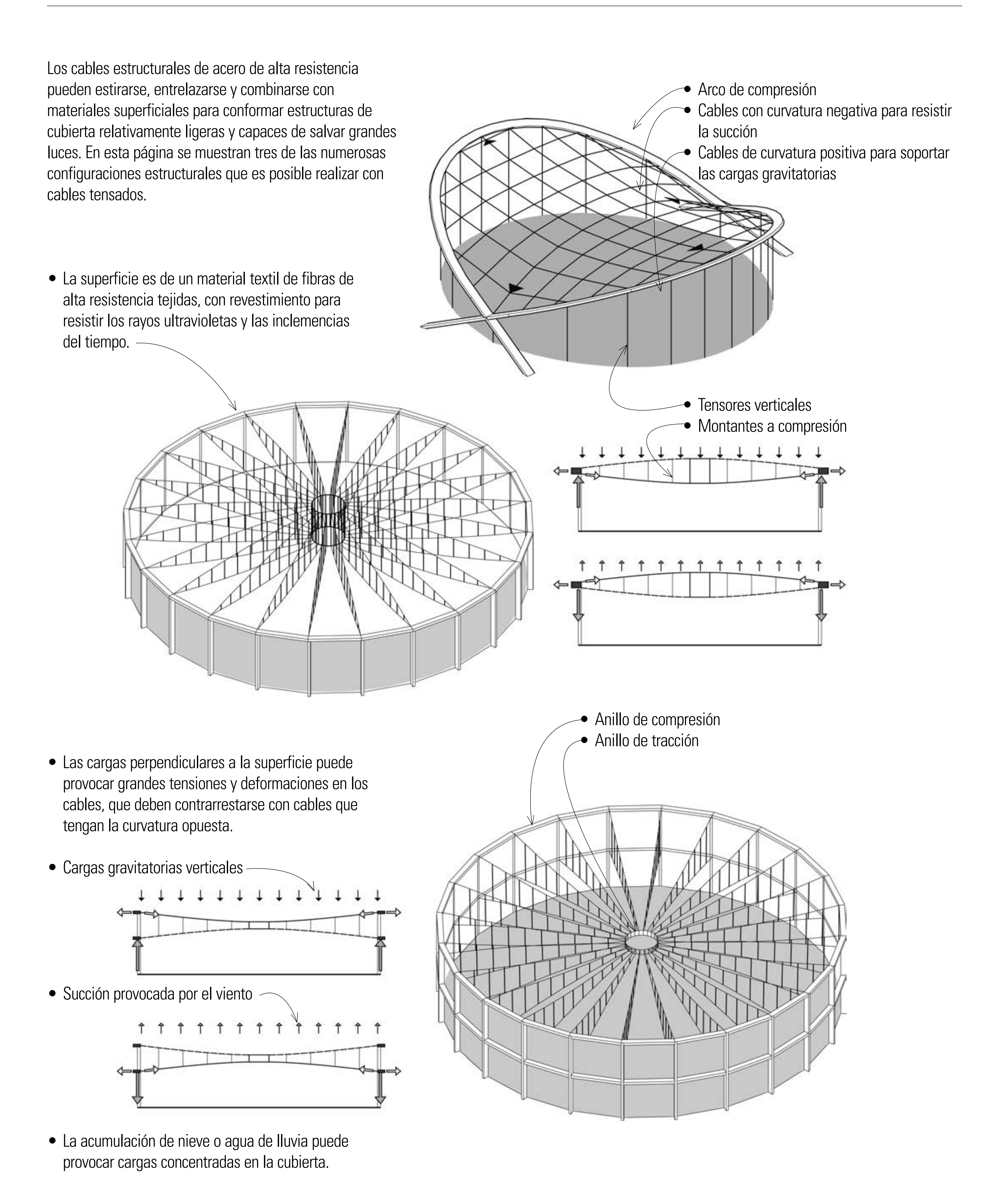
- Los cables tensores absorben el componente horizontal del empuje en una estructura tensada o suspendida y transfieren la carga a la cimentación.
- Los conectores tipo anillo o paraguas distribuyen la cargas del cable al mástil.
- Los mástiles deben ser capaces de resistir el pandeo asociado a la compresión (la suma de la compresión transmitida por el cable primario más la del tensor). La inclinación del mástil permite que la resultante de las fuerzas del cable actúe en la dirección del eje del mástil.

Estructura de curvatura simple
Las estructuras de curvatura simple utilizan series paralelas de cables para soportar las vigas o paneles que conforman la cubrición. Estas estructuras son susceptibles de sufrir sacudidas ocasionadas por los efectos aerodinámicos del viento, riesgo que puede reducirse aumentando el peso propio de la estructura y anclando los cables primarios al terreno mediante tensores transversales.

Estructuras de curvatura doble
Las estructuras de curvatura doble consisten en un campo de cables cruzados de curvaturas diferentes y a veces opuestas. Una serie de cables se encarga de contrarrestar los efectos de succión producidos por el viento, mientras que la otra serie, de curvatura opuesta, se encarga de resistir las cargas gravitatorias.



Los cables estructurales de acero de alta resistencia pueden estirarse, entrelazarse y combinarse con materiales superficiales para conformar estructuras de cubierta relativamente ligeras y capaces de salvar grandes luces. En esta página se muestran tres de las numerosas configuraciones estructurales que es posible realizar con cables tensados.



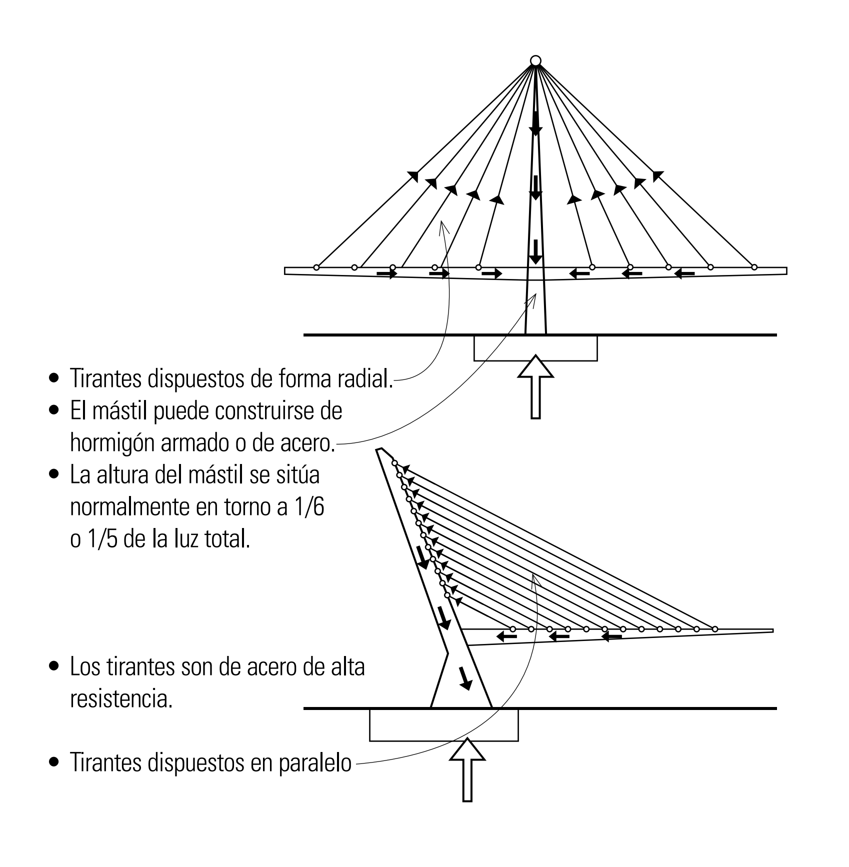
- La superficie es de un material textil de fibras de alta resistencia tejidas, con revestimiento para resistir los rayos ultravioletas y las inclemencias del tiempo.

- Las cargas perpendiculares a la superficie puede provocar grandes tensiones y deformaciones en los cables, que deben contrarrestarse con cables que tengan la curvatura opuesta.

- Cargas gravitatorias verticales

- Succión provocada por el viento

- La acumulación de nieve o agua de lluvia puede provocar cargas concentradas en la cubierta.



Estructuras colgantes
Las estructuras colgantes consisten en torres o mástiles de los cuales parten cables que sostienen elementos portantes horizontales. Los cables deben tener resistencia suficiente para asumir el peso propio de la estructura y también las distintas sobrecargas. La superficie estructural suspendida debe ser lo bastante rígida como para transferir o resistir las tensiones laterales y de torsión inducidas por el viento, las sobrecargas desequilibradas, así como la reacción normal generada por los cables o tirantes de los cuales cuelga.

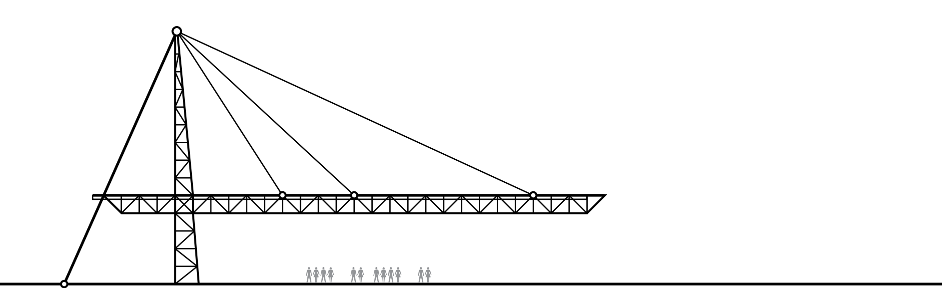
Los tirantes suelen disponerse simétricamente respecto de una única torre o mástil con el mismo número de tirantes a cada lado, de modo que los elementos horizontales de los cables inclinados se anulen mutuamente y reduzcan al mínimo el momento en la parte superior de la torre o mástil.

Existen dos configuraciones primarias para organizar los cables: sistemas radiales o paralelos. En los sistemas radiales todos los cables parten de un mismo punto en la parte superior del mástil, mientras que, en los paralelos, la conexión de los cables con el mástil se realiza a distintas alturas. Suele preferirse el sistema radial porque la conexión en un único punto minimiza el momento flector del mástil.

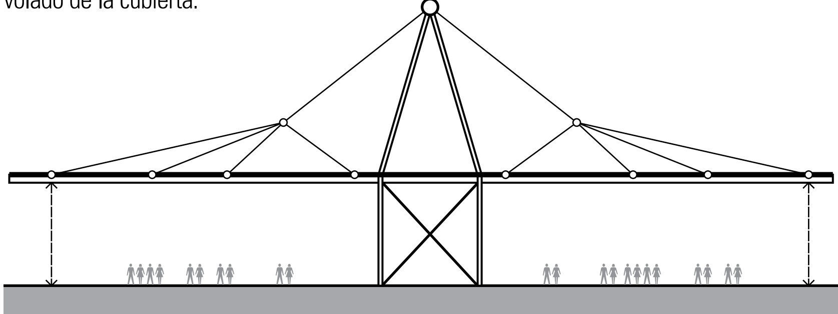
- Los elementos horizontales principales pueden adoptar la forma de cerchas planas, cerchas espaciales o vigas tubulares. Las cerchas espaciales y las vigas tubulares tienen la ventaja de que pueden resistir momentos de torsión.

- Cables diagonales para proporcionar arriostramiento lateral.

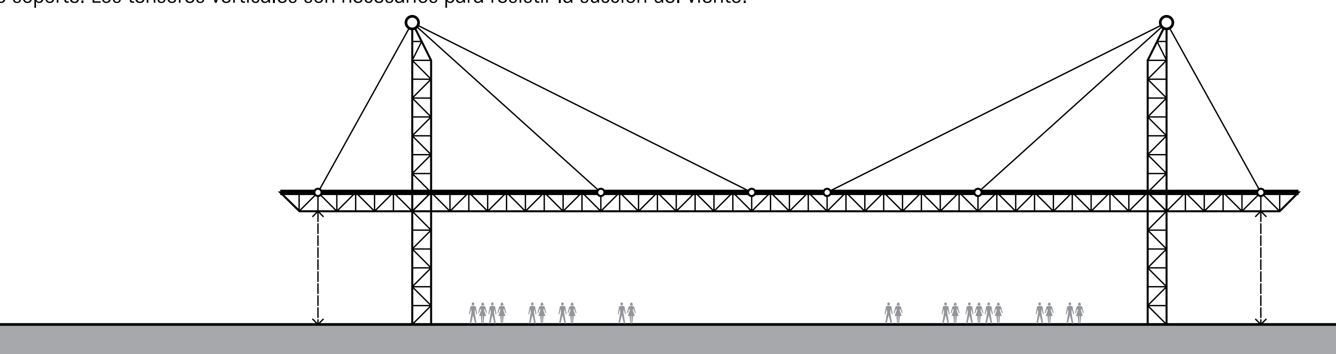
- Planos de arriostramiento formalizados mediante triangulaciones o diafragmas rígidos.



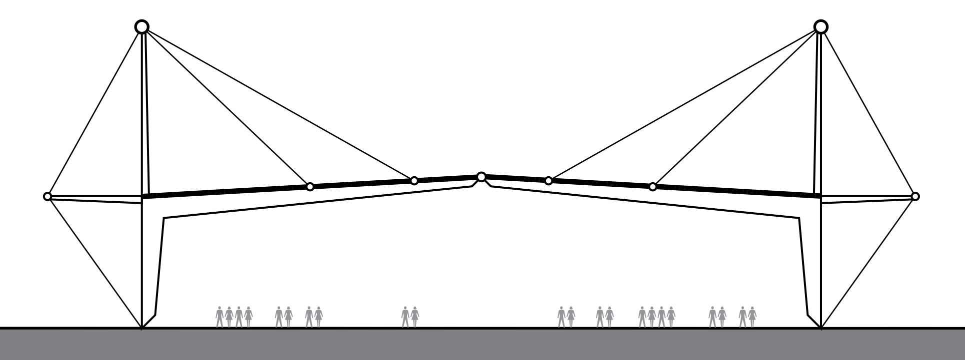
Esta estructura suspendida soporta una cubierta de gran superficie con una mínima cantidad de estructura de soporte a nivel del suelo. Sin embargo, para evitar efectos de succión por vientos intensos, puede ser necesario algún tipo de sujeción en el perímetro volado de la cubierta.



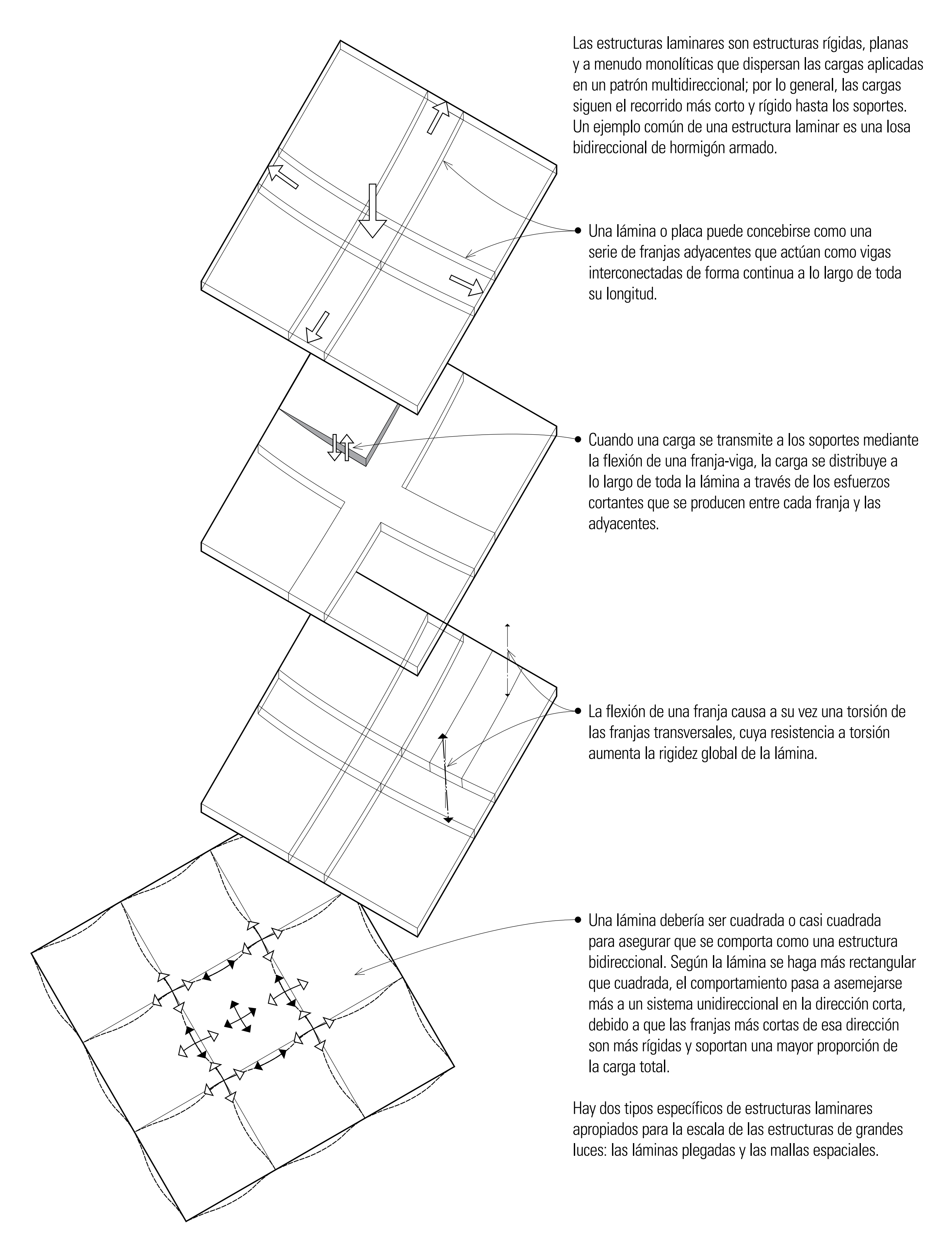
La estructura suspendida define grandes espacios diáfanos a cada lado del sistema central de soporte. Los tensores verticales son necesarios para resistir la succión del viento.



Esta estructura suspendida emplea dos de las estructuras del primer ejemplo para aumentar la cobertura y proporcionar un espacio diáfano mayor.



Este diseño emplea un pórtico triarticulado cuyo alcance horizontal se ha ampliado mediante el uso de tirantes.



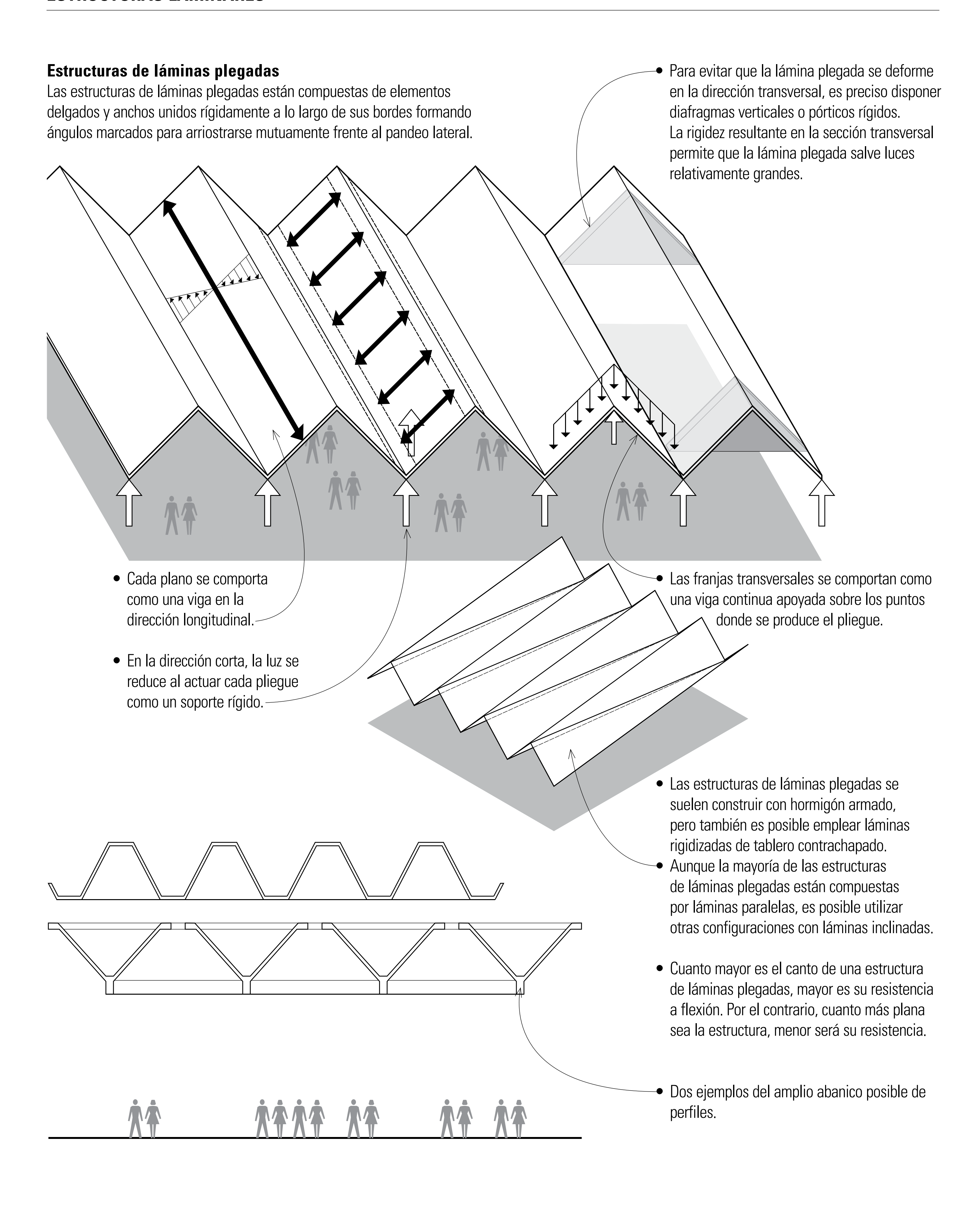
Las estructuras laminares son estructuras rígidas, planas y a menudo monolíticas que dispersan las cargas aplicadas en un patrón multidireccional; por lo general, las cargas siguen el recorrido más corto y rígido hasta los soportes. Un ejemplo común de una estructura laminar es una losa bidireccional de hormigón armado.

- Una lámina o placa puede concebirse como una serie de franjas adyacentes que actúan como vigas interconectadas de forma continua a lo largo de toda su longitud.
- Cuando una carga se transmite a los soportes mediante la flexión de una franja-viga, la carga se distribuye a lo largo de toda la lámina a través de los esfuerzos cortantes que se producen entre cada franja y las adyacentes.
- La flexión de una franja causa a su vez una torsión de las franjas transversales, cuya resistencia a torsión aumenta la rigidez global de la lámina.
- Una lámina debería ser cuadrada o casi cuadrada para asegurar que se comporta como una estructura bidireccional. Según la lámina se haga más rectangular que cuadrada, el comportamiento pasa a asemejarse más a un sistema unidireccional en la dirección corta, debido a que las franjas más cortas de esa dirección son más rígidas y soportan una mayor proporción de la carga total.

Hay dos tipos específicos de estructuras laminares apropiados para la escala de las estructuras de grandes luces: las láminas plegadas y las mallas espaciales.

Estructuras de láminas plegadas

Las estructuras de láminas plegadas están compuestas de elementos delgados y anchos unidos rígidamente a lo largo de sus bordes formando ángulos marcados para arriostrarse mutuamente frente al pandeo lateral.

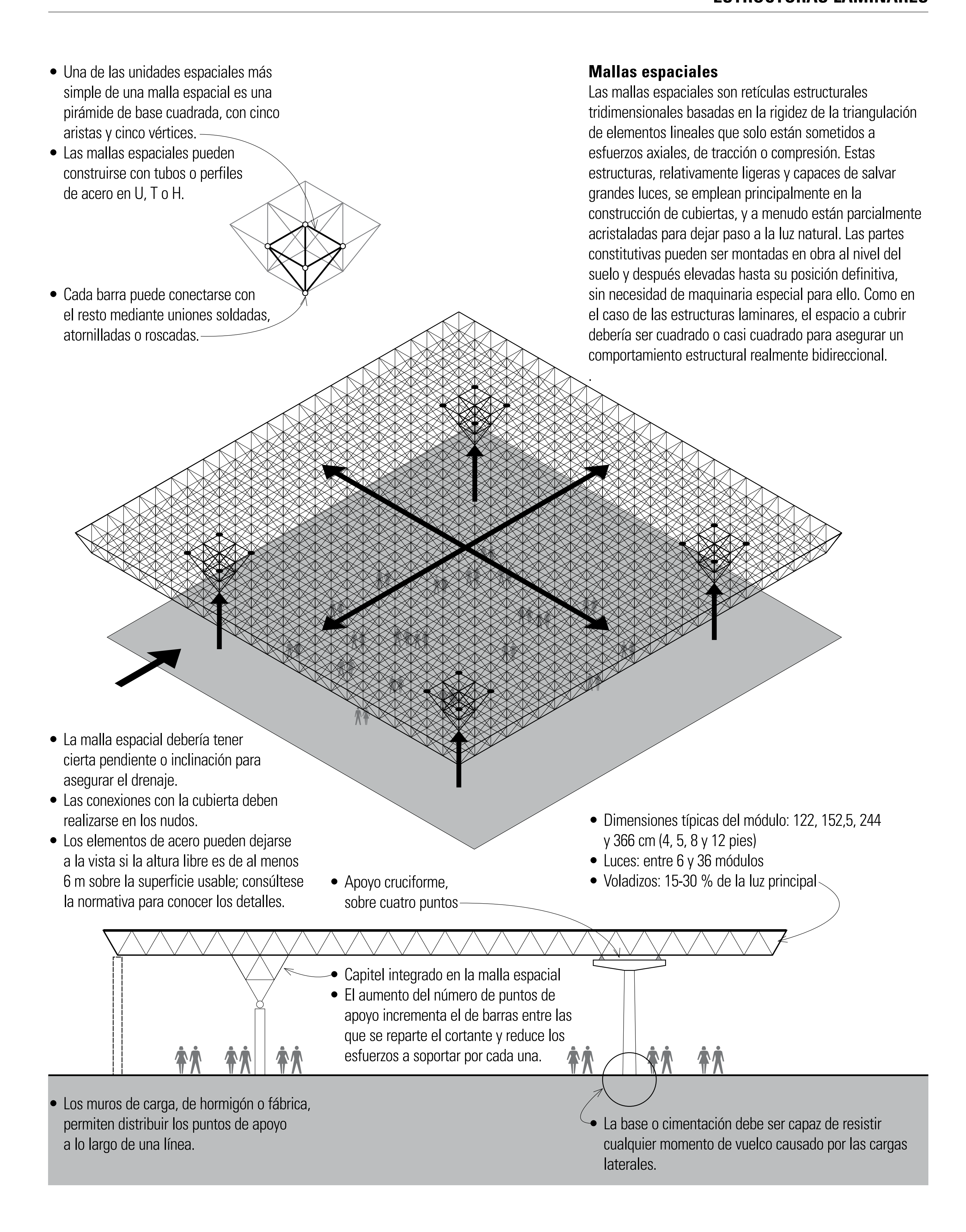


- Para evitar que la lámina plegada se deforme en la dirección transversal, es preciso disponer diafragmas verticales o pórticos rígidos. La rigidez resultante en la sección transversal permite que la lámina plegada salve luces relativamente grandes.
- Cada plano se comporta como una viga en la dirección longitudinal.
- En la dirección corta, la luz se reduce al actuar cada pliegue como un soporte rígido.
- Las franjas transversales se comportan como una viga continua apoyada sobre los puntos donde se produce el pliegue.
- Las estructuras de láminas plegadas se suelen construir con hormigón armado, pero también es posible emplear láminas rigidizadas de tablero contrachapado.
- Aunque la mayoría de las estructuras de láminas plegadas están compuestas por láminas paralelas, es posible utilizar otras configuraciones con láminas inclinadas.
- Cuanto mayor es el canto de una estructura de láminas plegadas, mayor es su resistencia a flexión. Por el contrario, cuanto más plana sea la estructura, menor será su resistencia.
- Dos ejemplos del amplio abanico posible de perfiles.

Mallas espaciales

Las mallas espaciales son retículas estructurales tridimensionales basadas en la rigidez de la triangulación de elementos lineales que solo están sometidos a esfuerzos axiales, de tracción o compresión. Estas estructuras, relativamente ligeras y capaces de salvar grandes luces, se emplean principalmente en la construcción de cubiertas, y a menudo están parcialmente acristaladas para dejar paso a la luz natural. Las partes constitutivas pueden ser montadas en obra al nivel del suelo y después elevadas hasta su posición definitiva, sin necesidad de maquinaria especial para ello. Como en el caso de las estructuras laminares, el espacio a cubrir debería ser cuadrado o casi cuadrado para asegurar un comportamiento estructural realmente bidireccional.

.

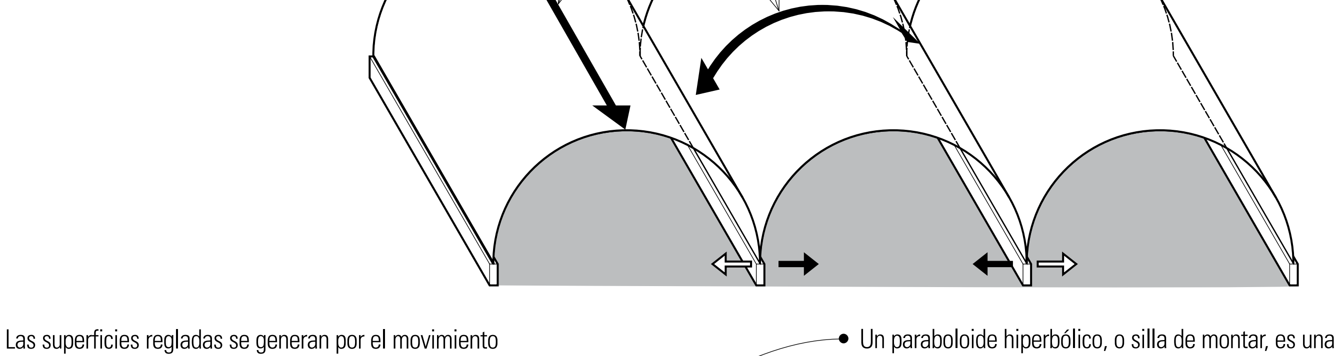


Las membranas son estructuras de láminas delgadas y curvas que se realizan habitualmente en hormigón armado para formar las cubiertas de edificios. Su forma permite transmitir las cargas aplicadas en forma de tensiones de membrana; es decir, tensiones de compresión, tracción y cortante que actúan dentro del mismo plano de la superficie. Una membrana puede sostener cargas relativamente elevadas siempre que se apliquen de forma distribuida. No obstante, debido a su delgadez, presentan poca resistencia a flexión y no resultan adecuadas para soportar cargas concentradas.

Tipos de superficie de membrana

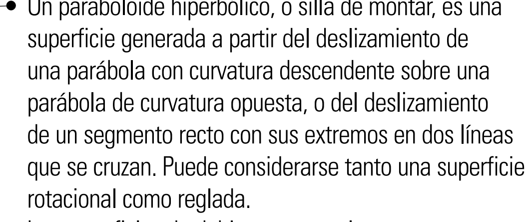
- Las superficies translacionales se generan deslizando una línea curva a lo largo de una directriz recta o sobre otra línea curva.

- Las bóvedas de cañón son estructuras cilíndricas de membrana. Si la longitud de estas bóvedas es al menos tres veces superior a la luz transversal, se comporta como una viga de canto con sección curva en la dirección longitudinal.
- Si es relativamente corta, muestra un comportamiento más parecido a un arco, y entonces se requiere la presencia de tirantes o pórticos rígidos transversales para contrarrestar los empujes horizontales.

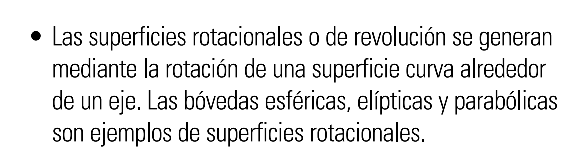


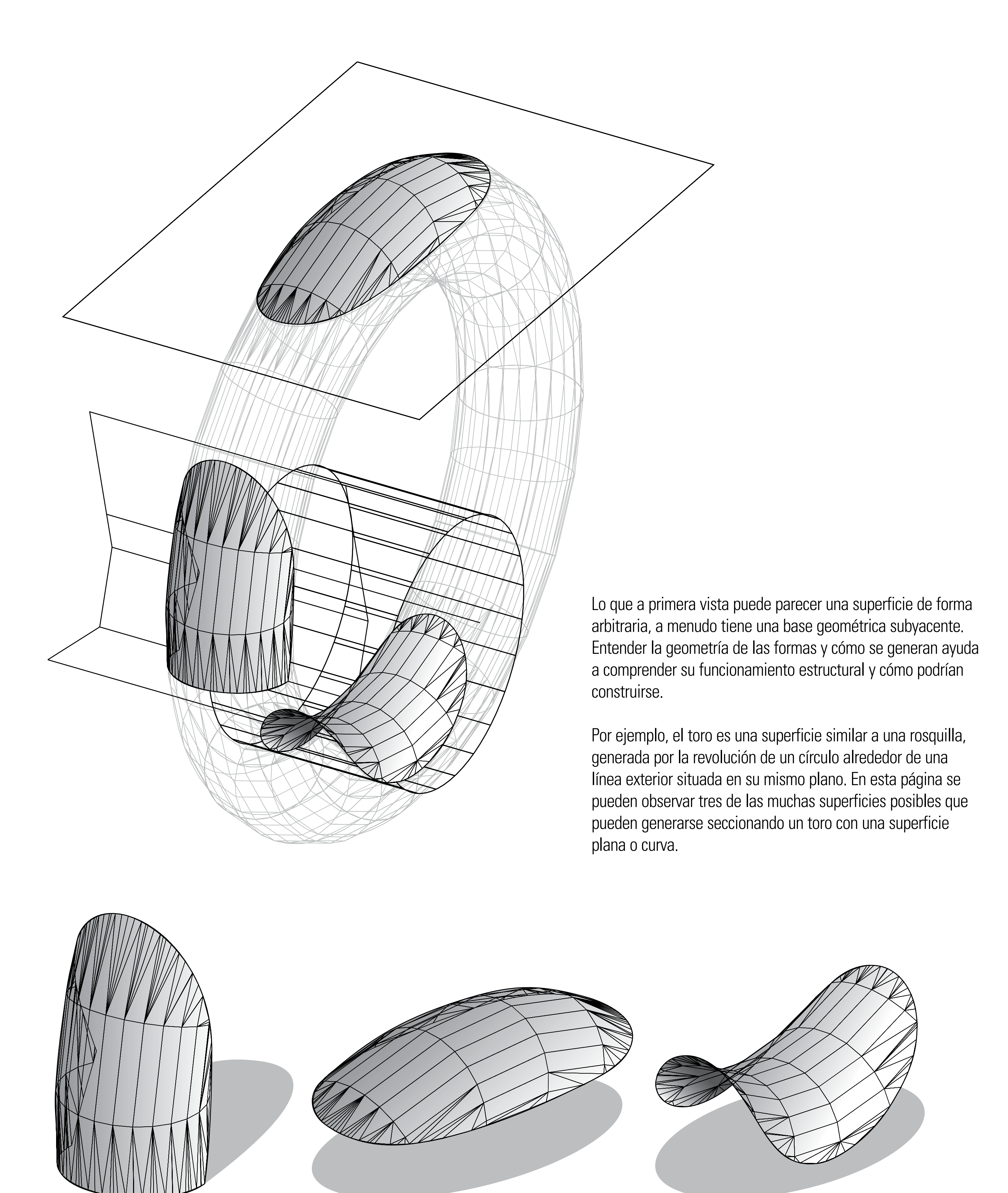
- Las superficies regladas se generan por el movimiento de una regla recta. Debido a su geometría basada en líneas rectas, una superficie reglada suele ser más sencilla de construir que una superficie rotacional o translacional.

- Un paraboloide hiperbólico, o silla de montar, es una superficie generada a partir del deslizamiento de una parábola con curvatura descendente sobre una parábola de curvatura opuesta, o del deslizamiento de un segmento recto con sus extremos en dos líneas que se cruzan. Puede considerarse tanto una superficie rotacional como reglada.
- Las superficies de doble curvatura tienen una curvatura ascendente en una dirección y descendente en la dirección perpendicular. En una membrana de este tipo, las regiones de curvatura descendente se comportan como arcos, mientras que las regiones de curvatura ascendente se comportan como estructuras tensadas. Si los bordes de la superficie no están apoyados, pueden comportarse como vigas.



- Las superficies rotacionales o de revolución se generan mediante la rotación de una superficie curva alrededor de un eje. Las bóvedas esféricas, elípticas y parabólicas son ejemplos de superficies rotacionales.

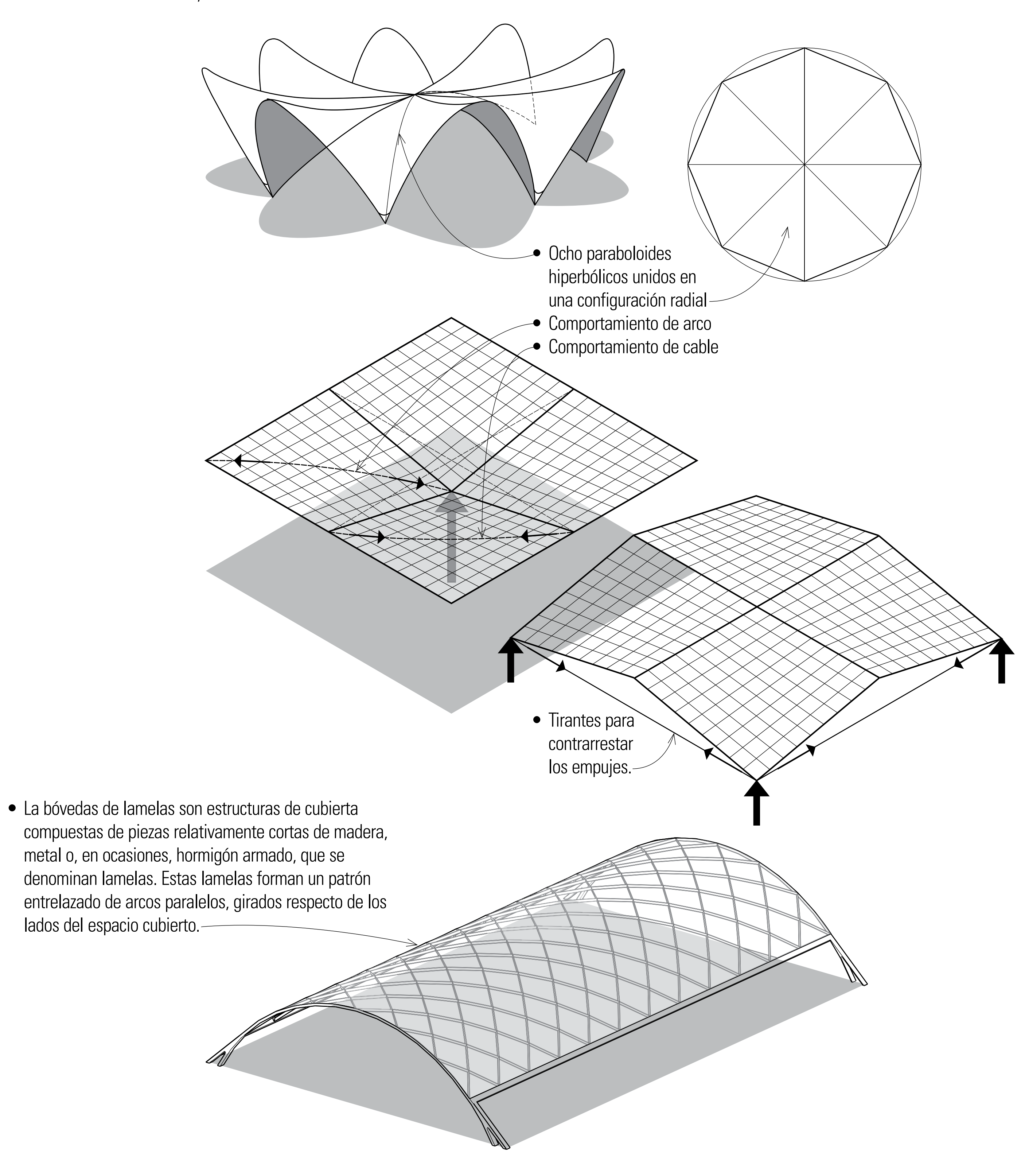


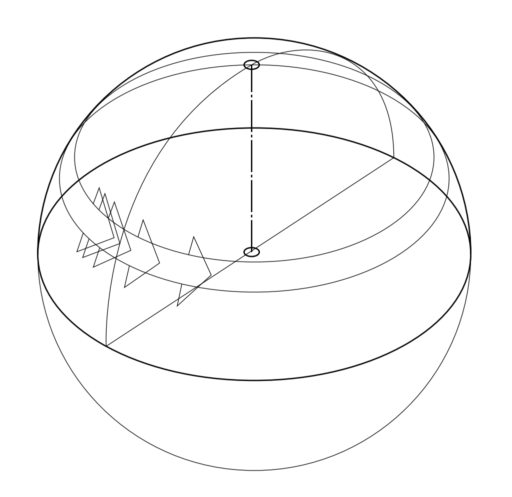


Lo que a primera vista puede parecer una superficie de forma arbitraria, a menudo tiene una base geométrica subyacente. Entender la geometría de las formas y cómo se generan ayuda a comprender su funcionamiento estructural y cómo podrían construirse.

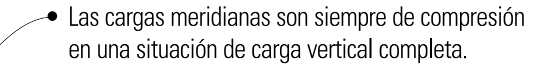
Por ejemplo, el toro es una superficie similar a una rosquilla, generada por la revolución de un círculo alrededor de una línea exterior situada en su mismo plano. En esta página se pueden observar tres de las muchas superficies posibles que pueden generarse seccionando un toro con una superficie plana o curva.

Puede obtenerse cualquier composición formal y espacial mediante la combinación de superficies geométricas. Para poder construirlas es preciso que la intersección de dos membranas sea coincidente y continua.

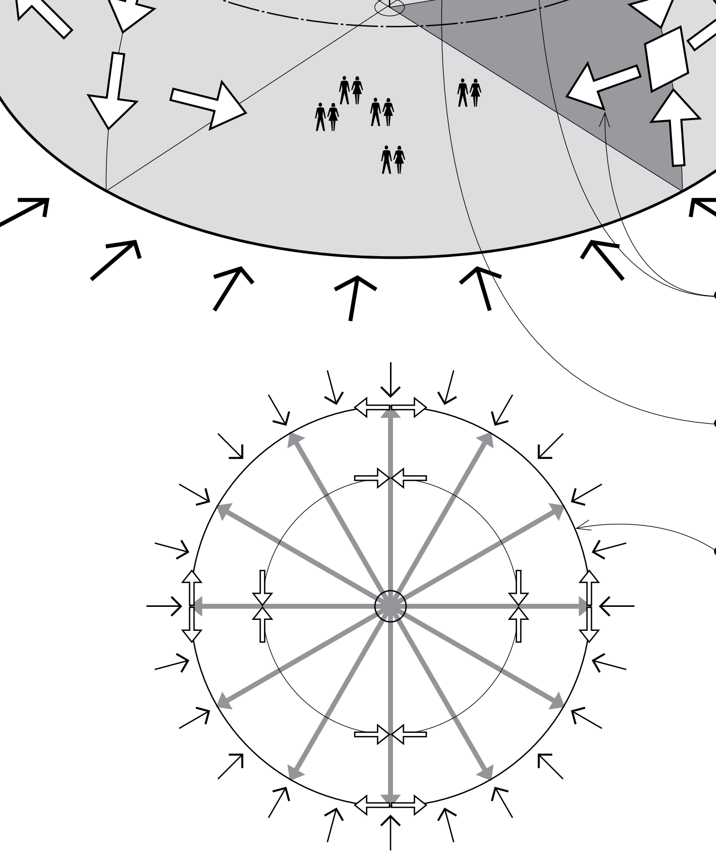




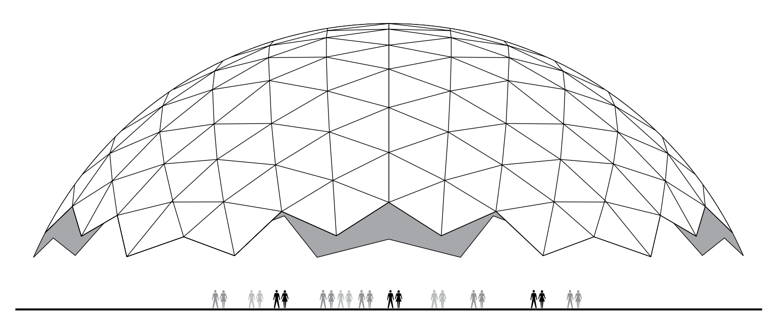
Cúpulas
Una cúpula es una estructura de superficie esférica, que tiene planta circular y está construida de un material rígido continuo como el hormigón armado, o de un conjunto de elementos lineales cortos, como en el caso de las cúpulas geodésicas. Una cúpula es similar a un arco girado excepto en que se desarrollan fuerzas circulares que son de compresión cerca de la clave y de tracción en la parte inferior.



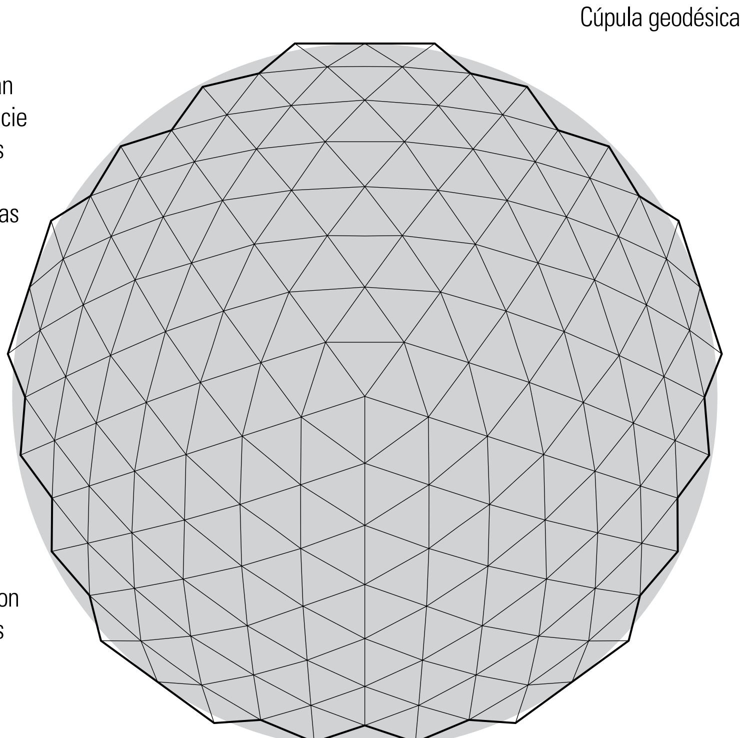
- Las cargas meridianas son siempre de compresión en una situación de carga vertical completa.



- Las cargas anulares restringen el movimiento hacia fuera del plano de las franjas meridianas de la cúpula, siendo de compresión en la zona superior y de tracción en la inferior.
- La transición entre cargas anulares de compresión a cargas anulares de tracción se produce en un ángulo de 45-60º respecto del eje vertical.
- La base de una cúpula está circunscrita por un anillo a tracción que contiene todas las componentes centrífugas de las cargas meridianas. En una cúpula de hormigón, este anillo está regruesado y reforzado para asumir las tensiones de flexión causadas por las deformaciones elásticas diferenciales del anillo y la membrana.



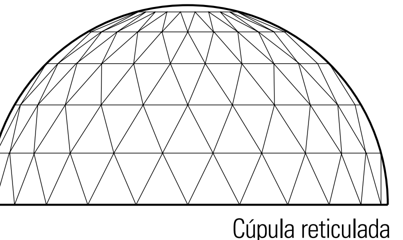
Cúpula geodésica



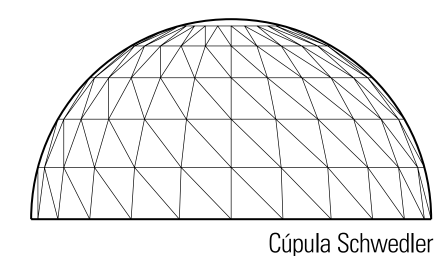
- Las cúpulas geodésicas son estructuras de acero con elementos que siguen las tres direcciones principales de grandes círculos y que se intersectan formando ángulos de 60°, subdividiendo la superficie de la cúpula en una serie de triángulos equiláteros esféricos.
- A diferencia de las cúpulas reticuladas y las cúpulas Schwedler, las cúpulas geodésicas presentan un perímetro irregular en la base que puede suponer dificultades en las condiciones de soporte.

- Las cúpulas reticulares son estructuras de acero con elementos que siguen la dirección de los paralelos y dos series de diagonales que forman una serie de triángulos isósceles.

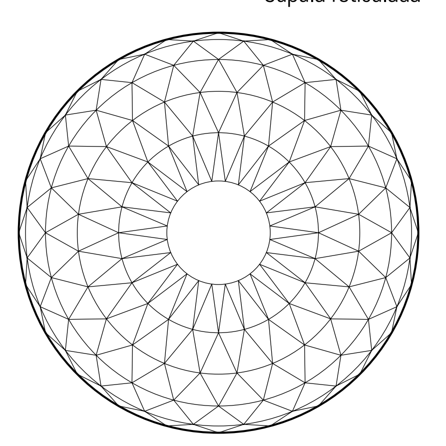
- Las cúpulas Schwedler son estructuras de acero con elementos que siguen las direcciones de los paralelos y los meridianos, con una tercera serie de barras diagonales que completan la triangulación.

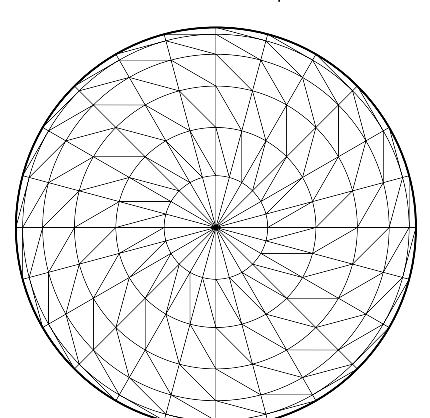


Cúpula reticulada

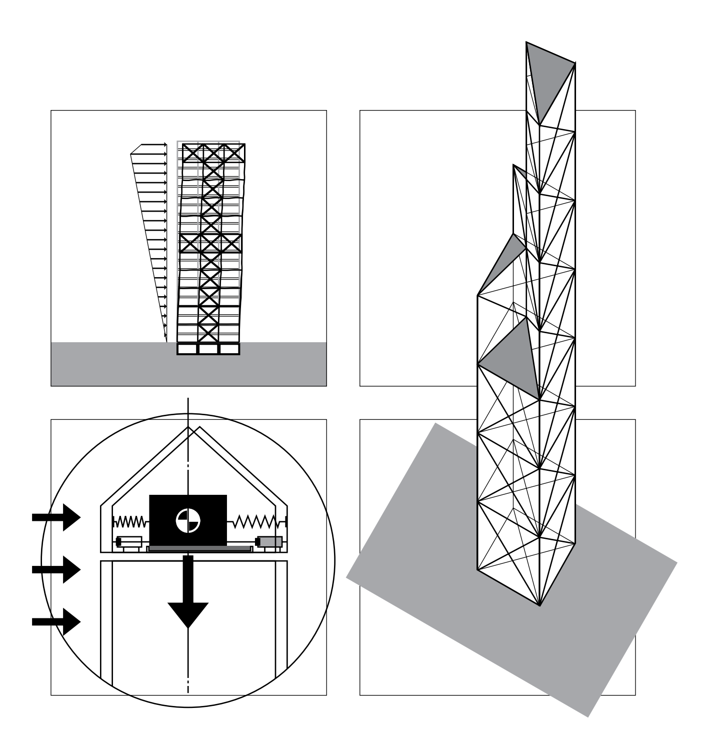


Cúpula Schwedler





7
Estructuras de edificios en altura

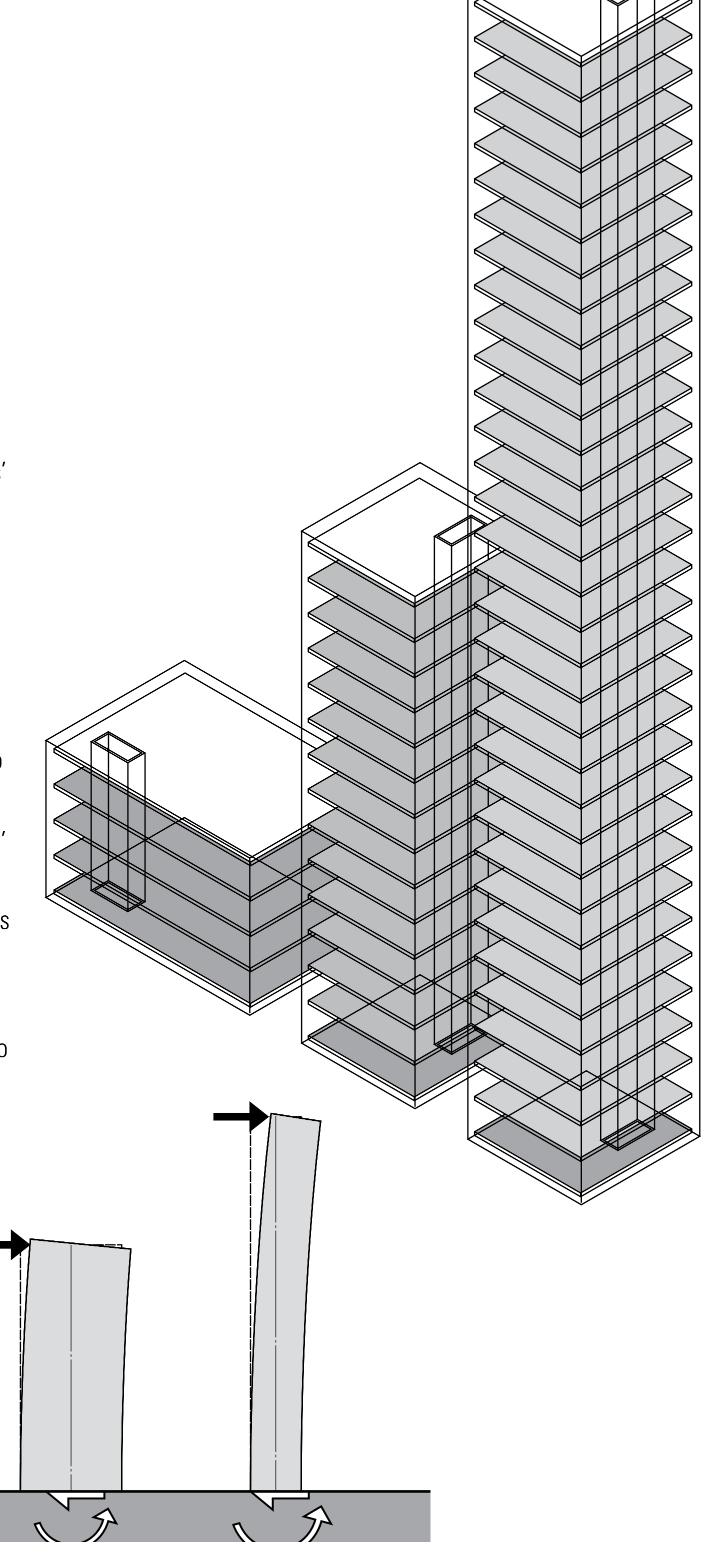


Los ingenieros, los arquitectos, los constructores y cualquier otro profesional del sector suelen denominar edificios en altura a aquellos que tienen diez plantas o más, o una altura ≥ 30 m. La normativa puede referirse a cierta altura más allá del alcance de los vehículos del departamento de bomberos. No obstante, Council on Tall Buildings [Consejo de Edificios en Altura] define un edificio en altura como sigue:

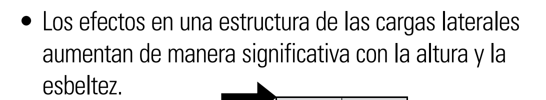
> "Un edificio en altura no viene definido por su altura ni por su número de plantas. El criterio realmente importante es si el diseño se ve influido por alguno de los aspectos asociados a la altura. Hablamos de edificios en los cuales la 'altura' influye significativamente en su planificación, diseño y uso. Son edificios cuya 'altura' conlleva condicionantes en el diseño, la construcción y la utilización distintos de aquellos presentes normalmente en edificios 'comunes' en una determinada región y período".

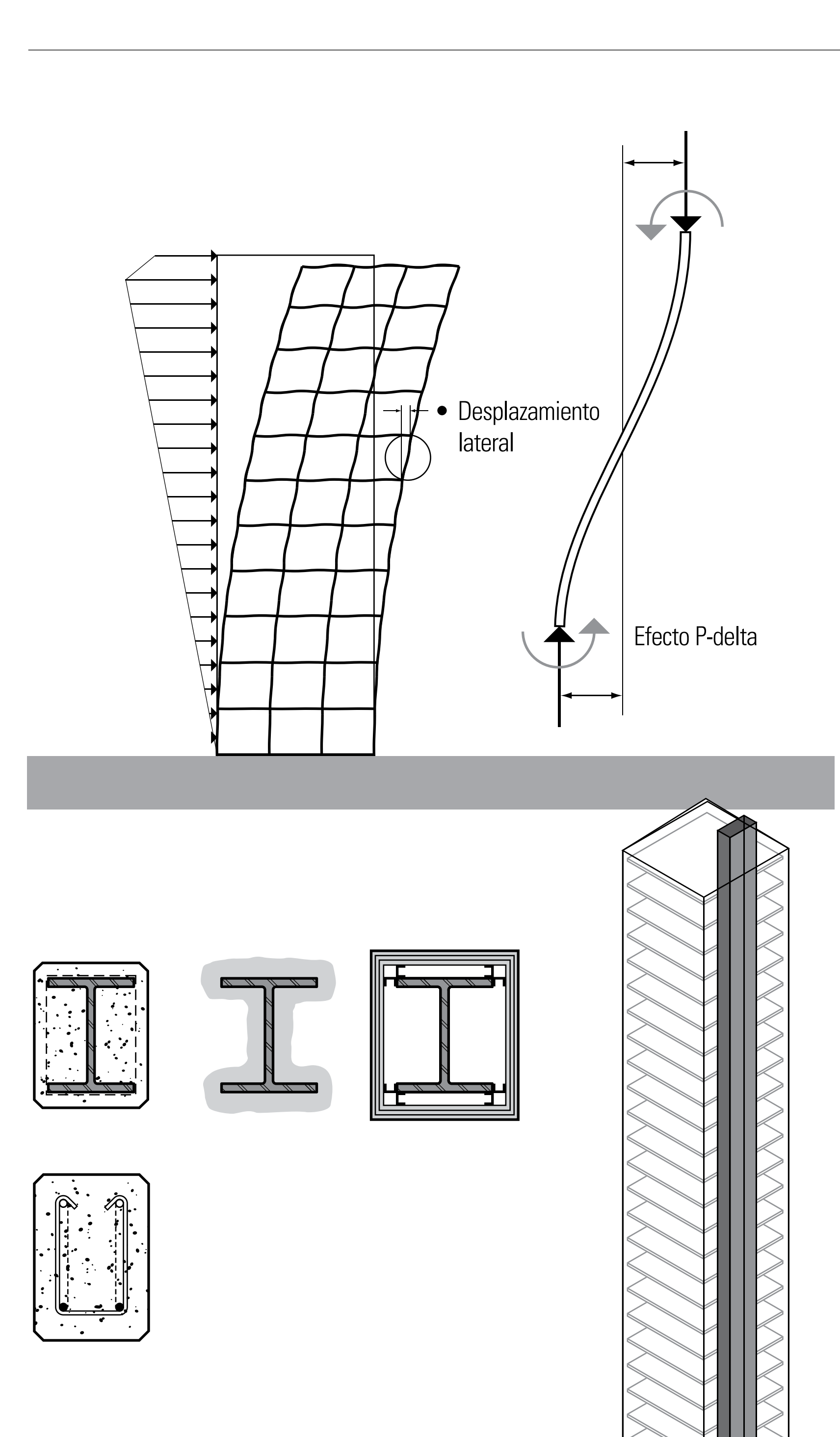
A partir de esta definición, podemos observar que un edificio en altura no viene definido solo por su altura, sino también por sus proporciones.

En un edificio en altura se aplican los mismos principios básicos del diseño estructural que en cualquier otro tipo de construcción. Tanto los componentes individuales como la estructura en su conjunto deben estar diseñados para resistir adecuadamente las cargas gravitatorias y laterales, y además debe contarse con la suficiente rigidez en la estructura para restringir las deformaciones dentro de límites aceptables. Sin embargo, los sistemas estructurales de los edificios en altura tienden a estar dominados por la necesidad de resistir las cargas laterales. Las provisiones para resistir las cargas laterales, el control de los desplazamientos horizontales, el comportamiento dinámico y la resistencia frente al vuelco eclipsan las provisiones para resistir las cargas gravitatorias.



- Los efectos en una estructura de las cargas laterales aumentan de manera significativa con la altura y la esbeltez.





El desplazamiento lateral puede llegar a ser importante a medida que aumenta la altura de un edificio. Las deformaciones excesivas pueden provocar que los ascensores se desalineen y que los ocupantes del edificio presenten reacciones adversas frente al movimiento. Las dos causas principales de los desplazamientos y las vibraciones laterales son las cargas sísmicas y de viento. Otro factor que no puede ignorarse son los diferenciales de temperatura entre el interior y el exterior, y entre las fachadas soleadas y en sombra de un edificio.

A medida que los edificios en altura se desplazan de su posición estrictamente vertical, el peso de la estructura, desplazado respecto de su posición neutral centrada, contribuye a aumentar el momento de vuelco. La magnitud de este momento adicional se sitúa habitualmente en torno al 10 % del momento creado por el desplazamiento original. Este fenómeno potencialmente peligroso es conocido como el efecto P-delta.

Los materiales empleados en la construcción de edificios en altura son variados, y normalmente se utilizan en diversas combinaciones: acero y hormigón armado, pretensado y prefabricado.

La cantidad de material estructural requerido por metro cuadrado de planta en un edificio en altura excede los requisitos de edificios de baja y media altura. Los elementos portantes verticales (pilares, muros de carga y rigidizadores) necesitan soportar la altura completa del edificio, mientras que la cantidad de materiales requeridos para garantizar la estabilidad lateral es incluso más significativo.

Puesto que los sistemas de forjado en edificios en altura suelen ser repetitivos por naturaleza, el canto de los forjados tiene un gran impacto en el diseño del edificio. El ahorro de unos pocos centímetros en cada planta puede suponer el ahorro de muchos metros en la altura total del edificio. Esto tendrá un efecto en el coste de los ascensores, en el revestimiento de los muros y en otros subsistemas. Cualquier peso añadido a los forjados también supondrá un aumento del tamaño y del coste del sistema de cimentaciones.

A estos costes suplementarios debe añadirse el aumento en los costes de las instalaciones del edificio, principalmente en el sistema de comunicaciones verticales. El coste de la superficie útil en planta se ve incrementado por el espacio requerido para el sistema de comunicaciones verticales, que aumenta con la altura del edificio. Este aumento en el tamaño del núcleo de comunicaciones verticales, sin embargo, puede aprovecharse como parte importante de la estrategia de soporte de cargas verticales y laterales.

Cargas gravitatorias
Los elementos portantes verticales encargados de transferir las cargas gravitatorias verticales en un edificio en altura, como pilares, muros de carga y núcleos de comunicaciones, necesitan reforzarse para hacer frente al peso de la totalidad del edificio, debido a la naturaleza acumulativa de las cargas, desde la cubierta hasta los cimientos. Por tanto, la cantidad de materiales estructurales aumenta necesariamente con el número de plantas del edificio.

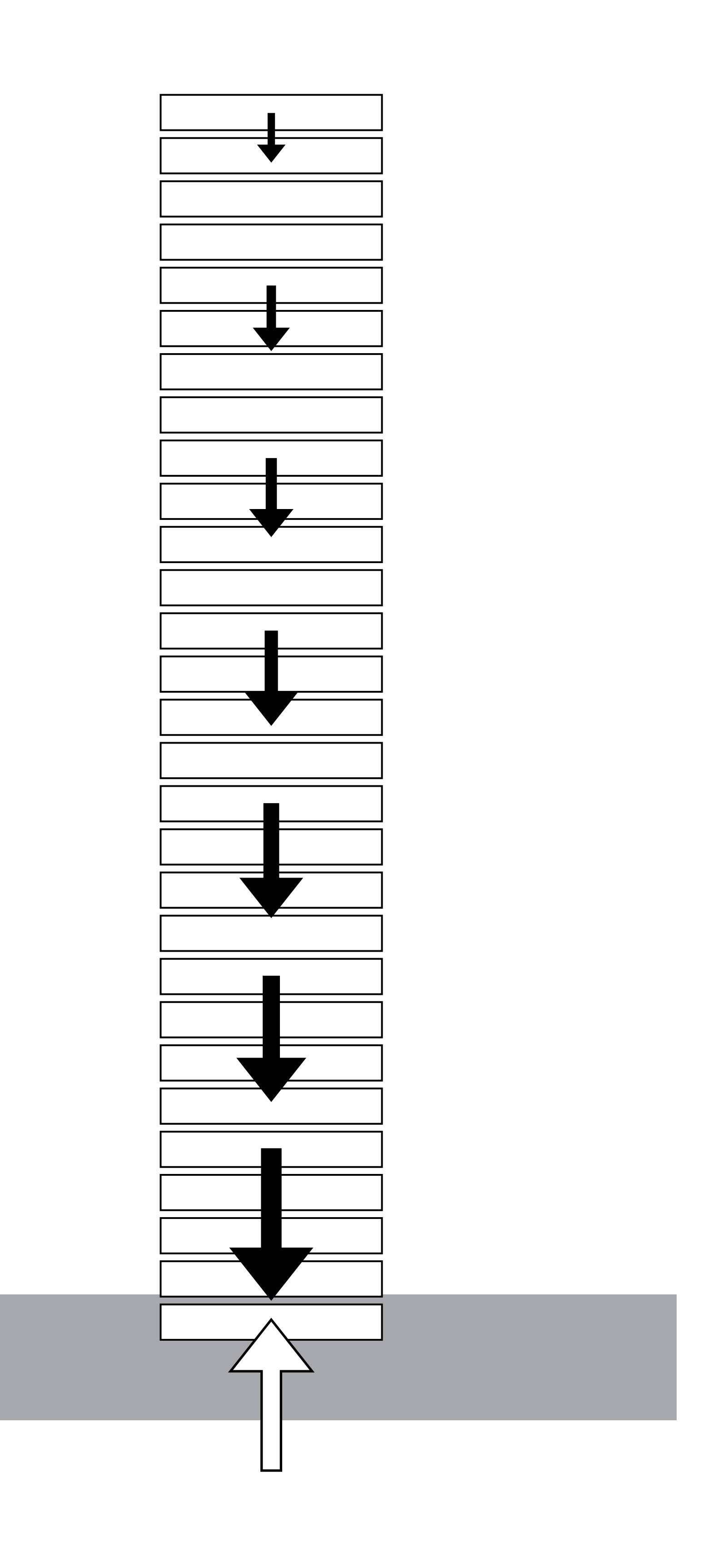
El aumento de las cargas gravitatorias debidas al peso propio es mucho más importante en las estructuras de hormigón que en las de acero. Este aumento puede ser una ventaja, pues el peso propio de la estructura de hormigón ayuda a resistir los efectos de vuelco debidos al viento. Por otra parte, la mayor masa de un edificio de hormigón puede suponer un riesgo durante un terremoto, ya que provocará la aparición de mayores cargas laterales durante el sismo.

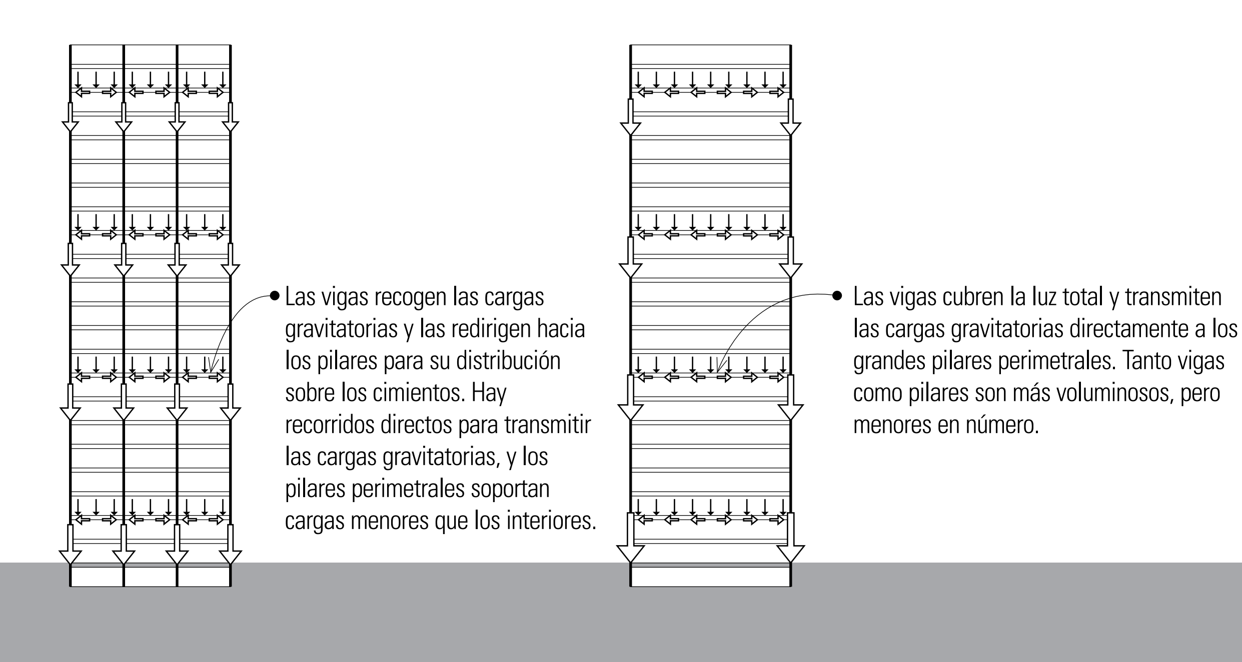
En contraste con los elementos portantes verticales, que necesitan ser reforzados, los sistemas de forjados y cubierta de los edificios en altura son similares a los de edificios de baja y media altura. Los elementos que trabajan a flexión y que conforman forjados y cubierta ayudan a atar los elementos verticales de la estructura y sirven como diafragmas horizontales. El sistema de forjado más común en las estructuras de acero de gran altura son los forjados de chapa colaborante con relleno de hormigón aligerado. Esta solución proporciona espacios para el alojamiento de cableado, eléctrico y de comunicaciones, y de pequeños conductos de instalaciones a través del propio forjado.

En las estructuras en altura de hormigón, puede resultar económico emplear un entramado de vigas y jácenas que soporte una losa ligera de hormigón.

Las viguetas trianguladas capaces de cubrir grandes luces pueden resultar económicas incluso aunque el canto de los forjados crezca más de lo normal. Las instalaciones pueden pasar por el alma abierta de las viguetas sin necesidad de reservar espacio adicional por debajo del cordón inferior de las mismas.

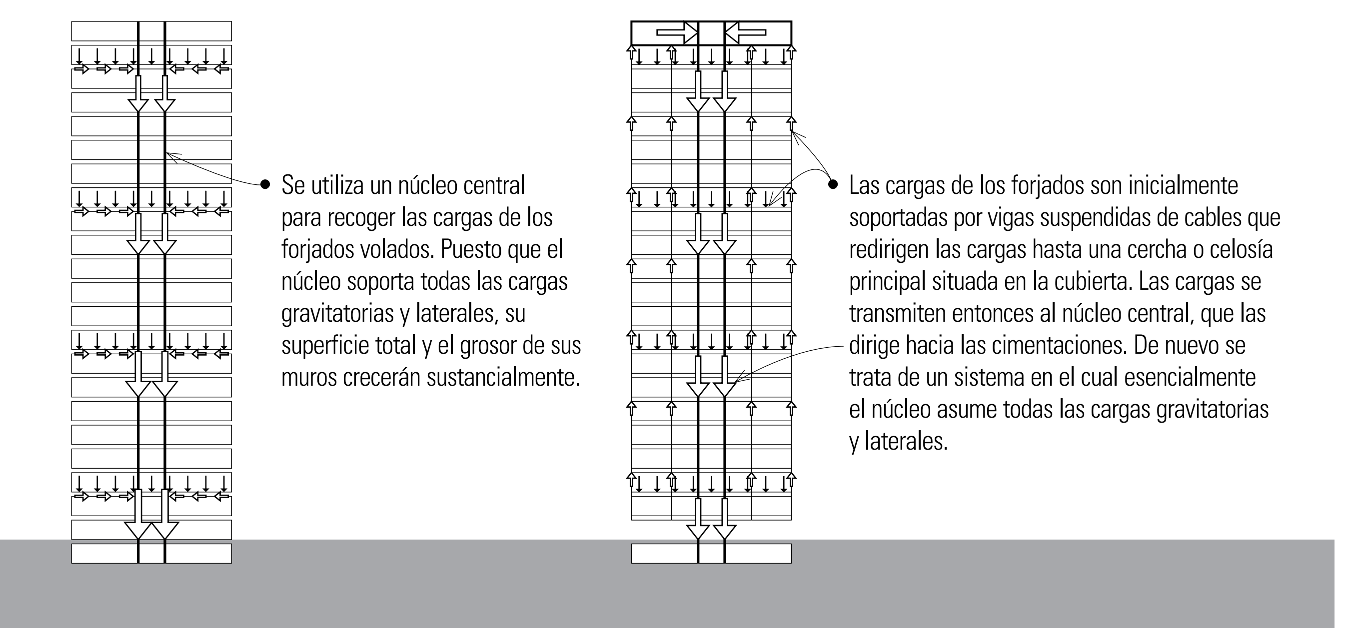
En edificios residenciales en altura se pueden utilizar losas postensadas para luces que no exceden los 7,5 o 9 m, con grosores de losa de 15-18 cm, o como máximo 20 cm. Las losas plana apoyadas directamente en pilares y sin ningún tipo de viga, proporcionan el mínimo canto de forjado. Sin embargo, cualquier instalación mecánica o eléctrica deberá situarse por debajo del forjado en un falso techo.





Las vigas recogen las cargas gravitatorias y las redirigen hacia los pilares para su distribución sobre los cimientos. Hay recorridos directos para transmitir las cargas gravitatorias, y los pilares perimetrales soportan cargas menores que los interiores.

Las vigas cubren la luz total y transmiten las cargas gravitatorias directamente a los grandes pilares perimetrales. Tanto vigas como pilares son más voluminosos, pero menores en número.



Se utiliza un núcleo central para recoger las cargas de los forjados volados. Puesto que el núcleo soporta todas las cargas gravitatorias y laterales, su superficie total y el grosor de sus muros crecerán sustancialmente.

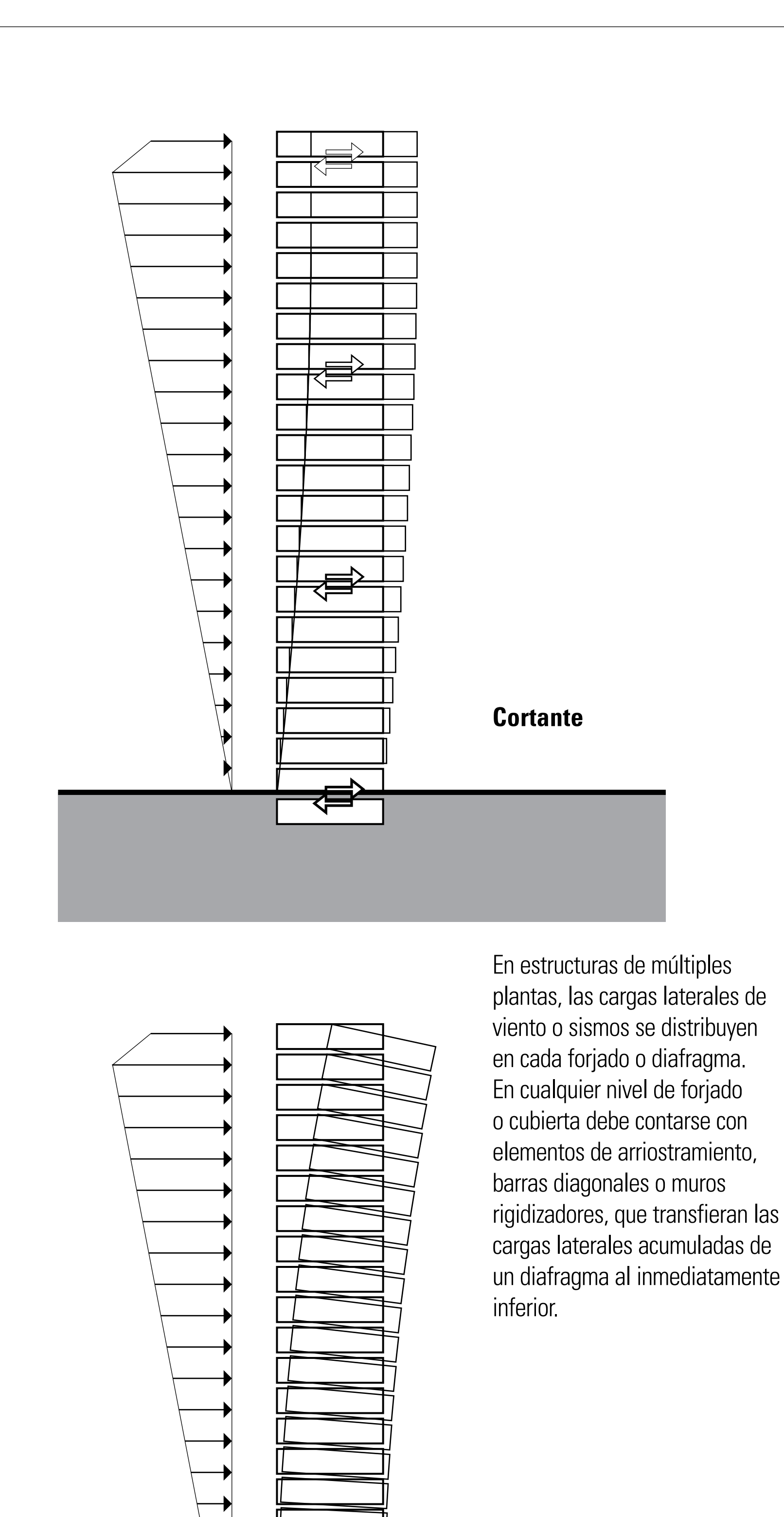
Las cargas de los forjados son inicialmente soportadas por vigas suspendidas de cables que redirigen las cargas hasta una cercha o celosía principal situada en la cubierta. Las cargas se transmiten entonces al núcleo central, que las dirige hacia las cimentaciones. De nuevo se trata de un sistema en el cual esencialmente el núcleo asume todas las cargas gravitatorias y laterales.

En un diseño basado en la seguridad, el objetivo es reducir la probabilidad de que un edificio colapse debido a las cargas sísmicas o de viento. En un segundo nivel, debe tomarse en consideración la probabilidad de daños en los materiales de revestimiento, los elementos no estructurales y los diversos equipos e instalaciones.

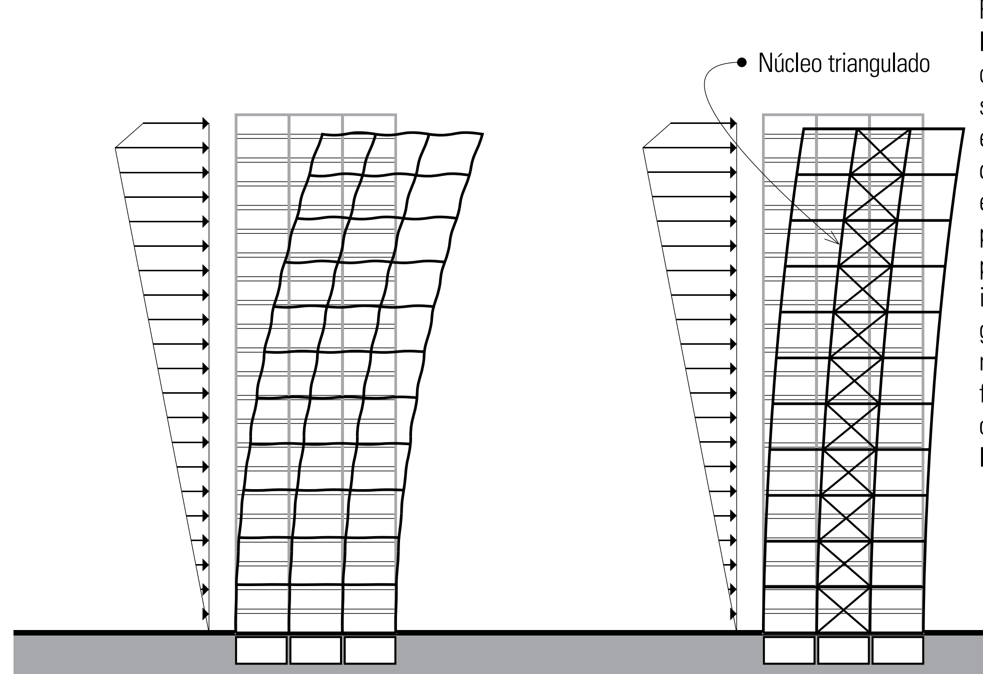
Excepto en zonas de alto riesgo sísmico, el viento es la carga que más afecta al diseño de edificios en altura. Las cargas de viento actúan sobre el conjunto de la estructura, aplicando una fuerza lateral en cada una de las plantas, cuya magnitud aumenta según se aleja del suelo. Se asume que estas cargas de viento actúan en perpendicular a las superficies del edificio, aunque también se tiene en cuenta el efecto del viento que sopla oblicuamente.

Con un viento constante, una estructura en altura se comporta como una ménsula o voladizo vertical empotrada en el terreno. Sin embargo, las ráfagas de viento sobre un edificio pueden hacerlo oscilar, y estas deformaciones, menores pero cambiantes, pueden provocar vibraciones en el edificio. Las oscilaciones, incluso pequeñas, pueden provocar que los ocupantes del edificio sientan cierta incomodidad e inseguridad. La rigidez y la capacidad de amortiguación inherentes a la mayoría de los edificios en altura descartan la posibilidad de que se produzca una resonancia y una inestabilidad aerodinámica a causa del viento.

Los movimientos debidos a acciones sísmicas en un edificio son distintos de aquellos producidos por el viento. Durante un terremoto de gran magnitud, un edificio puede flectar mucho más y en direcciones aleatorias, lo cual implica el reto de evitar movimientos demasiado grandes que puedan producir un colapso. Los períodos críticos de vibración de los terremotos se sitúan generalmente en el rango de las fracciones de segundo, mientras que el período de los edificios en altura flexibles estará en varios segundos. Cuando el período de un terremoto se mantiene desfasado respecto del período del edificio, la posibilidad de una resonancia armónica se ve reducida. La resonancia armónica aumenta la amplitud del desplazamiento y puede provocar movimientos catastróficos. Los edificios altos están diseñados para ser relativamente rígidos frente a las cargas de viento, pero debe permitirse que ciertas partes de la estructura se desplacen o se quiebren para alargar el período de vibración del edificio y aumentar su capacidad amortiguadora. Esta solución evita los colapsos catastróficos durante terremotos de gran magnitud. Los requisitos de ductilidad que impone el diseño sismorresistente implica dotar a los edificios de una reserva de resistencia (a través de deformaciones plásticas más allá del límite elástico) de forma que el edificio pueda oscilar sin perder su integridad estructural.



En estructuras de múltiples plantas, las cargas laterales de viento o sismos se distribuyen en cada forjado o diafragma. En cualquier nivel de forjado o cubierta debe contarse con elementos de arriostramiento, barras diagonales o muros rigidizadores, que transfieran las cargas laterales acumuladas de un diafragma al inmediatamente inferior.



En edificios altos, el momento de vuelco debido a las cargas laterales es significativo. Para resistirlo mejor, resulta ventajoso que los forjados distribuyan la mayor parte de la carga gravitatoria del edificio en los soportes verticales perimetrales, con el fin de estabilizarlos mediante una precompresión que les permita responder mejor a los esfuerzos de tracción que pueda producirse para contrarrestar el momento de vuelco. Esto puede lograrse eliminando todos los soportes interiores posibles y utilizando forjados de grandes luces, capaces de salvar la luz entre el núcleo central y los pilares perimetrales. Estos forjados de mayor resistencia pueden también contribuir más eficazmente a resistir las cargas laterales de cortante.

Una viga estabilizadora de cubierta, unida al núcleo y combinada con los pilares perimetrales, sirve para reducir el momento de vuelco y el desplazamiento lateral del edificio. Los pilares perimetrales están unidos en cada forjado y soportan las cargas gravitatorias, además de restringir el movimiento lateral del entramado.

Viga estabilizadora en cubierta
Pilar comprimido
Núcleo triangulado
Pilar traccionado
Pilar traccionado
Pilar comprimido

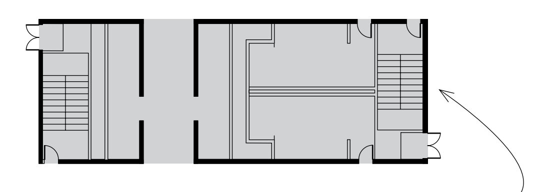
Una posible variante consiste en situar la viga estabilizadora en varios niveles intermedios a lo largo de la altura del edificio. El núcleo suele estar centrado, en tanto que las vigas estabilizadoras se extienden hacia ambos lados. Cuando el núcleo tiende a flectar, las vigas estabilizadoras actúan como brazos de palanca que trasladan la carga a los pilares perimetrales, comprimiéndolos o traccionándolos. Estos pilares, a su vez, actúan como puntales que resisten la flexión del núcleo. Las vigas estabilizadoras intermedias asumen por lo general forma de vigas trianguladas en los entramados de acero, o de muros en las estructuras de hormigón armado, aunque pueden materializarse como una estructura mixta de acero y hormigón.

Viga estabilizadora

Cualquier carga lateral aplicada a cierta distancia por encima del terreno genera un momento de vuelco en la base de una estructura. Para alcanzar el equilibrio, el momento de vuelco debe contrarrestarse con un momento de reacción de igual magnitud y sentido inverso, que se traduce esfuerzos internos en los elementos verticales de la estructura. Los edificios altos y esbeltos, con una elevada relación entre altura y base, experimentan mayores flexiones horizontales en su parte superior y son especialmente susceptibles a momentos de vuelco.

Aunque la torsión puede estar presente en edificios de cualquier altura, puede resultar particularmente crítica en las estructuras de edificios en altura. Debido a la altura extrema de estos edificios, una torsión en planta que podría considerarse aceptable en edificios de media y baja altura, puede acumularse a lo largo de varias plantas y provocar una rotación total del edificio que es inasumible. Los movimientos asociados con la torsión pueden sumarse a la oscilación a lo largo de los ejes del edificio, creando translaciones y aceleraciones inaceptables.

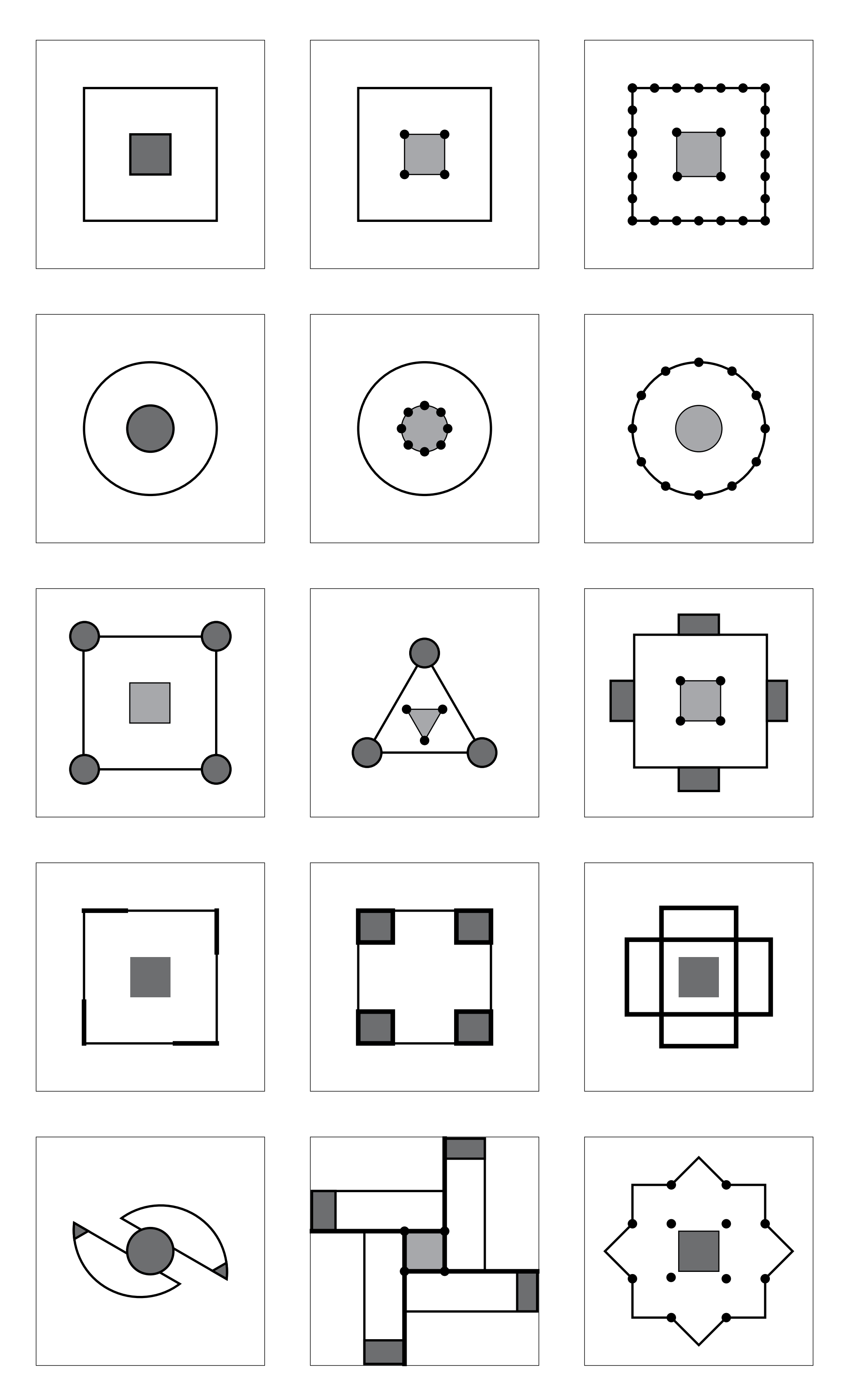
Las estructuras de múltiples plantas están generalmente arriostradas mediante al menos cuatro planos verticales por planta, situados para minimizar los momentos de torsión y los desplazamientos asociados. Aunque es deseable situar los planos verticales de arriostramiento en la misma posición en todas las plantas, no siempre es necesario. La transferencia del cortante puede analizarse planta por planta de forma aislada. La resistencia a torsión es máxima cuando los sistemas de arriostramiento y los núcleos se colocan de forma simétrica y equilibrada. Esto minimiza la posibilidad de que el centro de masas del edificio esté desplazado respecto del centro de rigidez o resistencia.



- La resistencia a torsión mejora si se distribuyen los sistemas de arriostramiento (muros rigidizadores, triangulaciones o pórticos rígidos) para formar un tubo completo. Los núcleos de comunicaciones verticales realizados con pórticos de hormigón armado o acero también resultan más eficaces si están cerrados.

Vuelco

Torsión



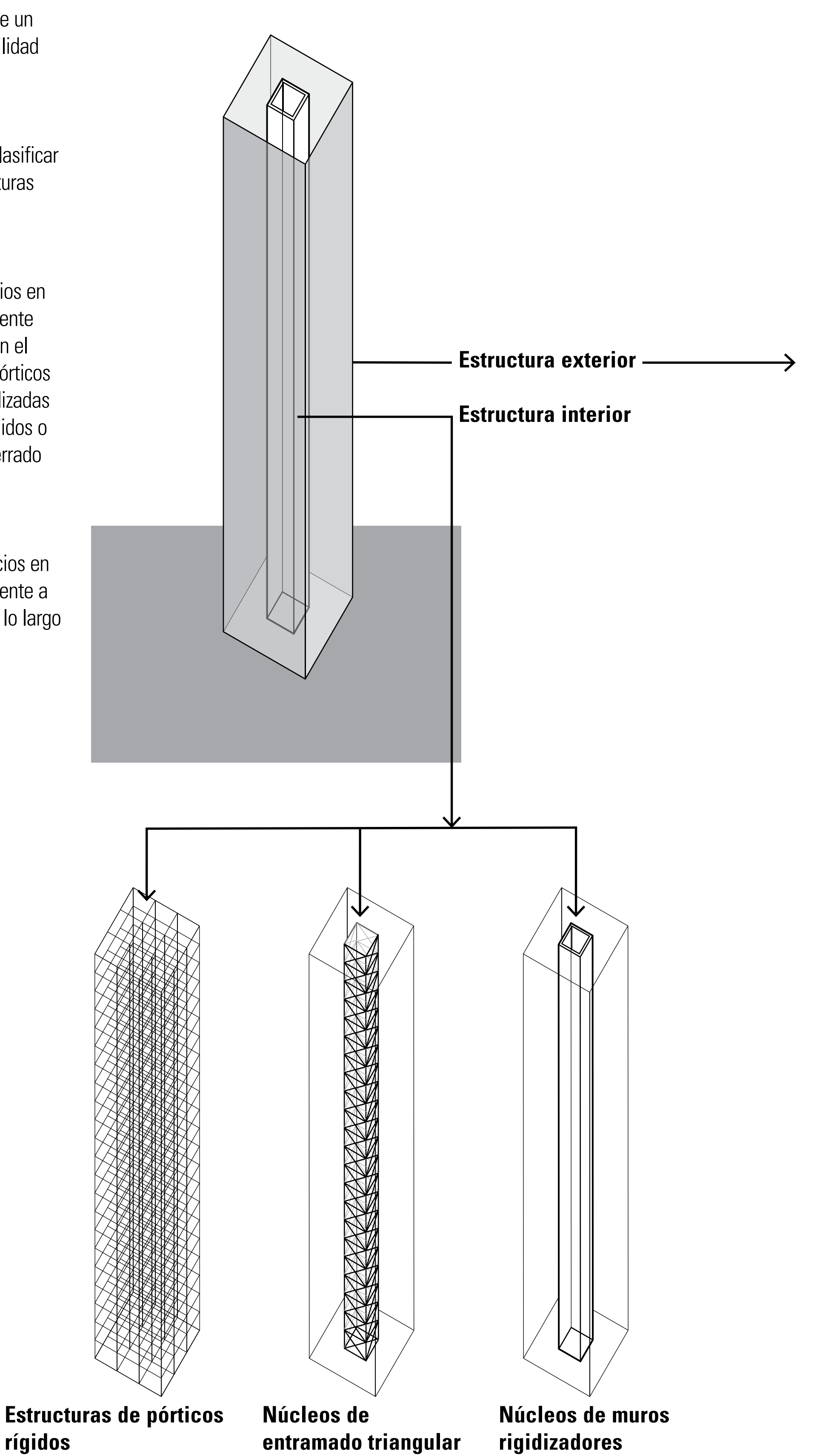
En esta página se muestra una serie de configuraciones de planta inherentemente estables para edificios en altura. Deberían evitarse las formas trianguladas abiertas, pues son intrínsecamente débiles frente a la torsión. Las disposiciones en L, T y X funcionan peor frente a esfuerzos de torsión, mientras que las configuraciones en C o en Z apenas son algo mejores.

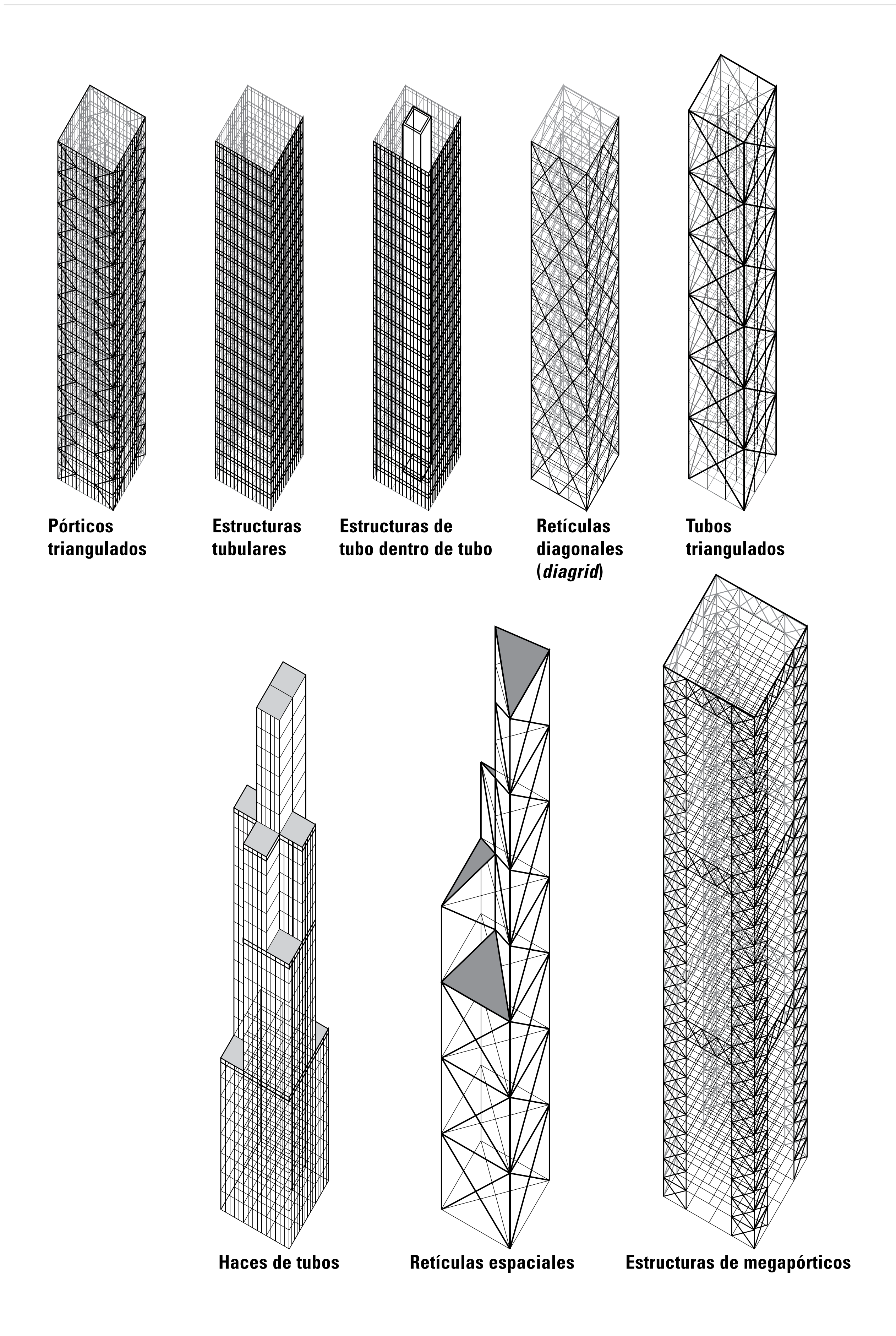
La elección de un sistema de arriostramiento lateral adecuado puede facilitar o dificultar la ejecución de un proyecto de edificio en altura, en términos de viabilidad técnica, económica o funcional.

En función de la localización predominante de los sistemas verticales de arriostramiento, podemos clasificar las estructuras en altura en dos categorías: estructuras interiores y estructuras exteriores.

Estructuras interiores
Las estructuras interiores son estructuras de edificios en altura que resisten las cargas laterales, principalmente mediante elementos de arriostramiento situados en el interior de la estructura, como las estructuras de pórticos rígidos de acero u hormigón, o las estructuras rigidizadas por un núcleo de pórticos triangulados, pórticos rígidos o muros rigidizadores conformados en un sistema cerrado que actúa como un tubo estructural.

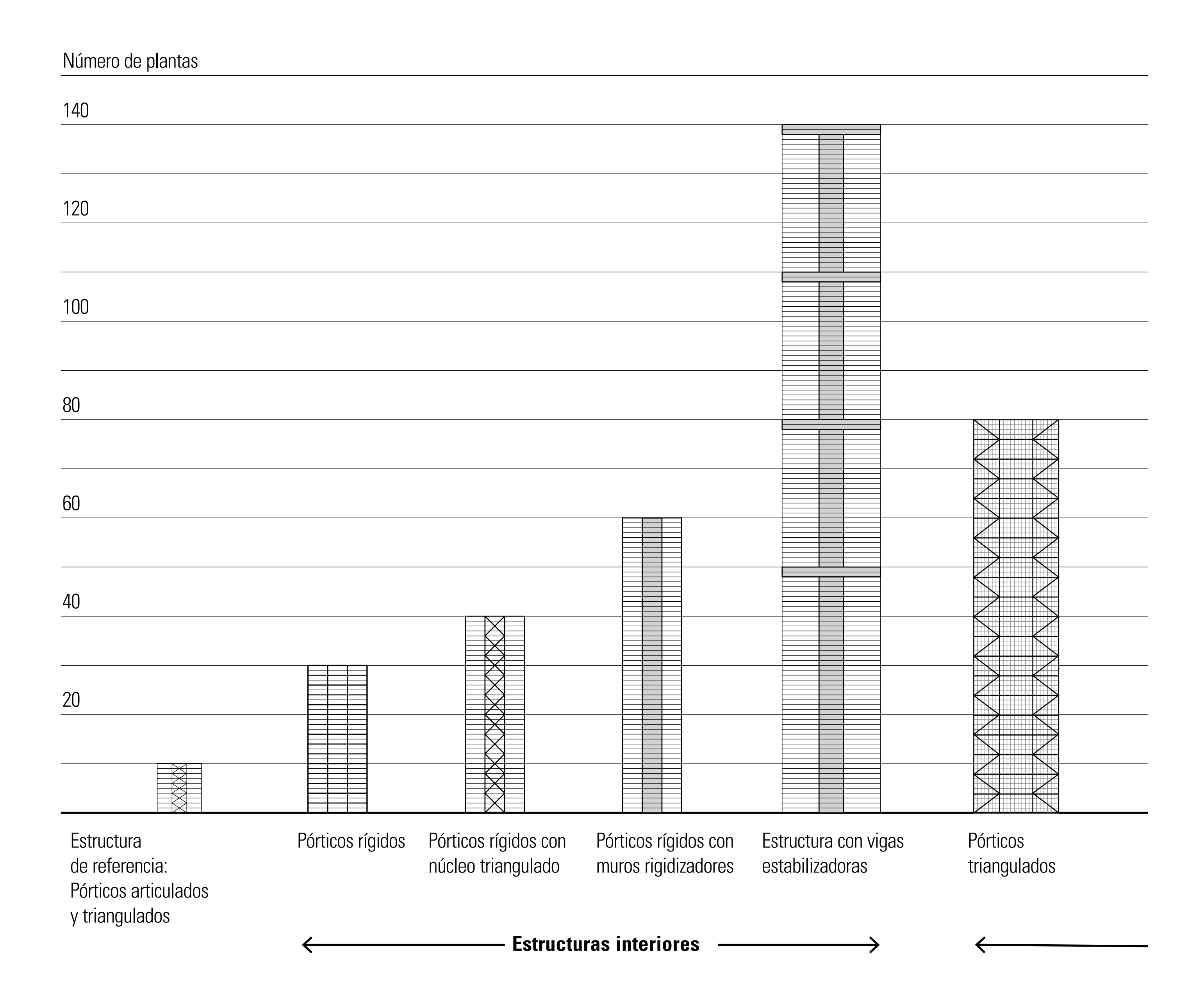
Estructuras exteriores
Las estructuras exteriores son estructuras de edificios en altura que resisten las cargas laterales, principalmente a través de elementos de arriostramiento situados a lo largo del perímetro de la estructura.

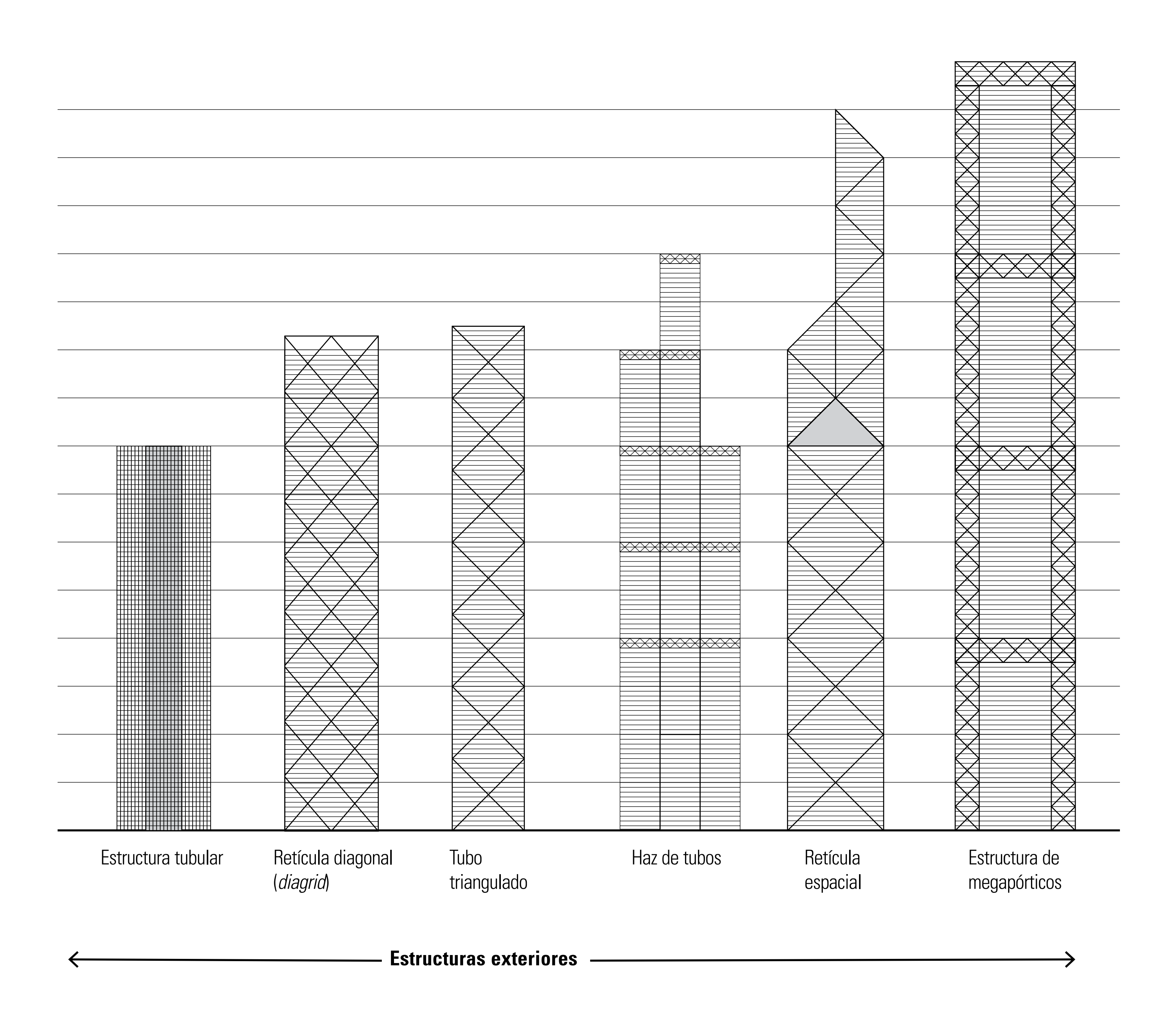



Pórticos triangulados
Estructuras tubulares
Estructuras de tubo dentro de tubo
Retículas diagonales (*diagrid*)
Tubos triangulados
Haces de tubos
Retículas espaciales
Estructuras de megapórticos

TIPOS DE ESTRUCTURAS DE EDIFICIOS EN ALTURA

El gráfico de estas dos páginas muestra los tipos básicos de estructuras de edificios en altura y el número de plantas que puede alcanzar cada tipo de forma razonable.




Estructura tubular
Retícula diagonal (*diagrid*)
Tubo triangulado
Haz de tubos
Retícula espacial
Estructura de megapórticos
Estructuras exteriores

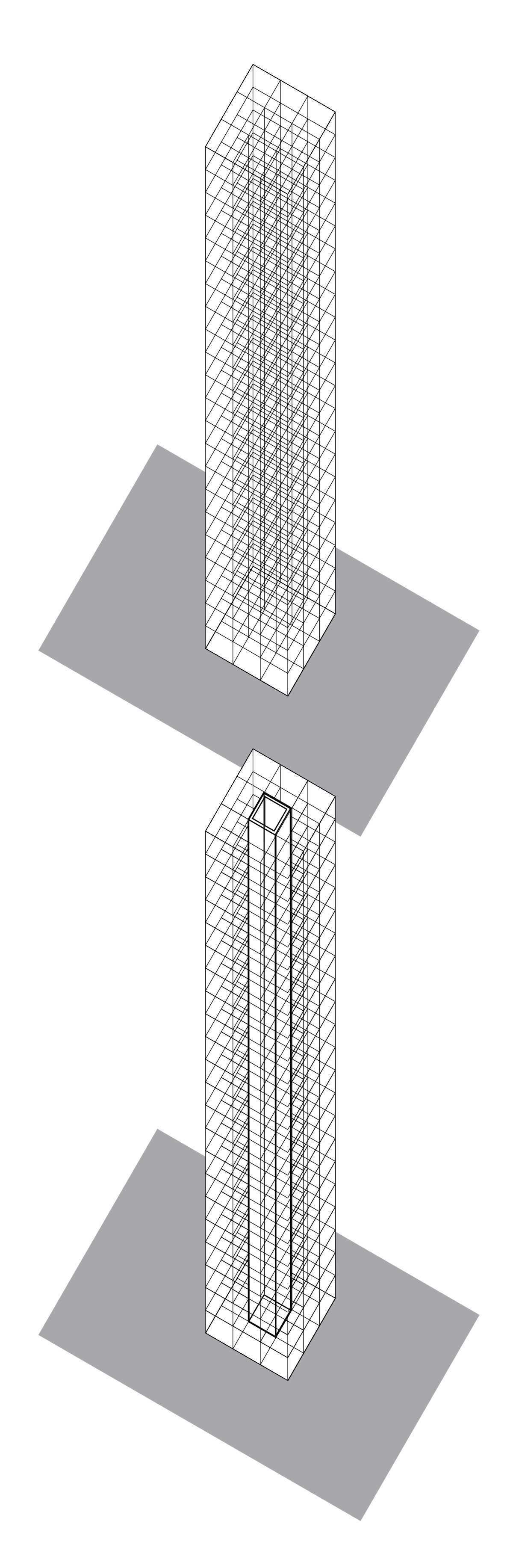
Estructuras de pórticos rígidos
Uno de los sistemas estructurales primarios y más utilizados en edificios en altura construidos en acero y hormigón hasta la década de 1960 eran los pórticos rígidos convencionales. El entramado estructural representa una ménsula vertical empotrada en el terreno.

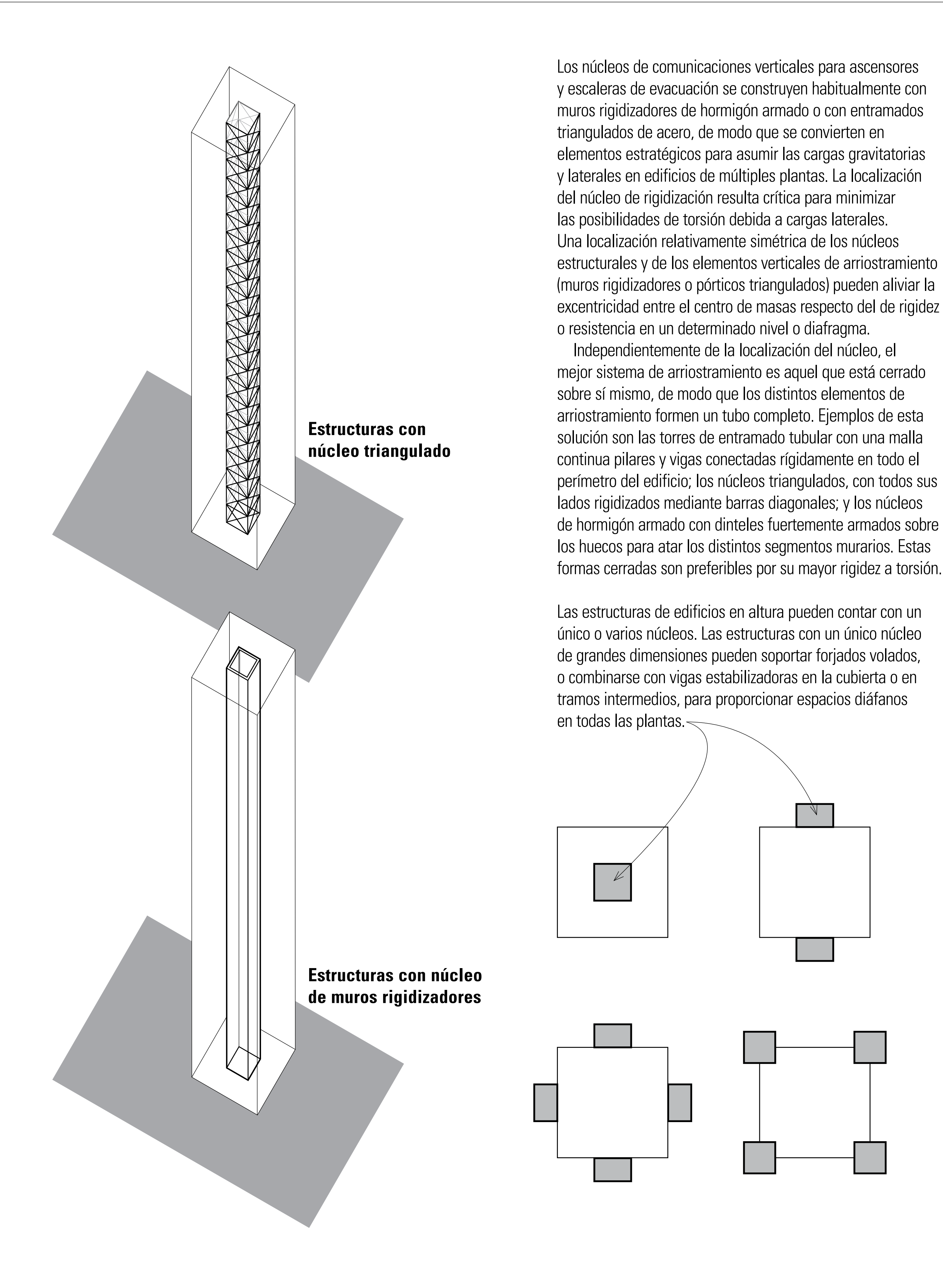
Se asume que las cargas sísmicas y de viento actúan lateralmente, generando esfuerzos de cortante y momentos de flexión que se suman a las cargas gravitatorias. El sistema de forjados normalmente asume la misma cantidad de cargas gravitatorias en todas las plantas, pero las vigas que unen las hileras de pilares deben ir creciendo en las plantas bajas para resistir las mayores cargas laterales y para aumentar la rigidez del edificio.

Las dimensiones de los pilares crecen de forma progresiva según van descendiendo hacia la base del edificio, debido a la acumulación de cargas gravitatorias transmitidas desde las plantas superiores. El resultado neto es que según aumenta la altura de un edificio y se hace más crítico su balanceo por las cargas laterales, se produce una mayor demanda para las vigas y los pilares que configuran el entramado estructural rígido, ya que deben asumir las cargas laterales.

En la construcción de pórticos rígidos, las vigas y jácenas de ambas direcciones deben ser lo bastante rígidas como para minimizar el desplazamiento lateral de las plantas superiores. Esto requiere por lo general que las vigas y las jácenas cuenten con material adicional, a menos que haya otros elementos verticales, como muros rigidizadores o núcleos estructurales, que se encarguen específicamente de reducir el desplazamiento lateral. La cantidad requerida de material para resistir las cargas laterales podría incrementarse hasta un punto tal que el sistema de pórticos rígidos se hace prohibitivo desde el punto de vista de los costes para edificios que superen las 30 plantas de altura.

Los muros rigidizadores y los pórticos triangulados pueden por sí mismos proporcionar estabilidad lateral para edificios de entre 10 y 35 plantas de altura. Sin embargo, cuando se combinan con pórticos rígidos, la interacción de ambos sistemas de arriostramiento proporciona mayor estabilidad lateral al edificio y permite alcanzar alturas de hasta 60 plantas.





Los núcleos de comunicaciones verticales para ascensores y escaleras de evacuación se construyen habitualmente con muros rigidizadores de hormigón armado o con entramados triangulados de acero, de modo que se convierten en elementos estratégicos para asumir las cargas gravitatorias y laterales en edificios de múltiples plantas. La localización del núcleo de rigidización resulta crítica para minimizar las posibilidades de torsión debida a cargas laterales. Una localización relativamente simétrica de los núcleos estructurales y de los elementos verticales de arriostramiento (muros rigidizadores o pórticos triangulados) pueden aliviar la excentricidad entre el centro de masas respecto del de rigidez o resistencia en un determinado nivel o diafragma.

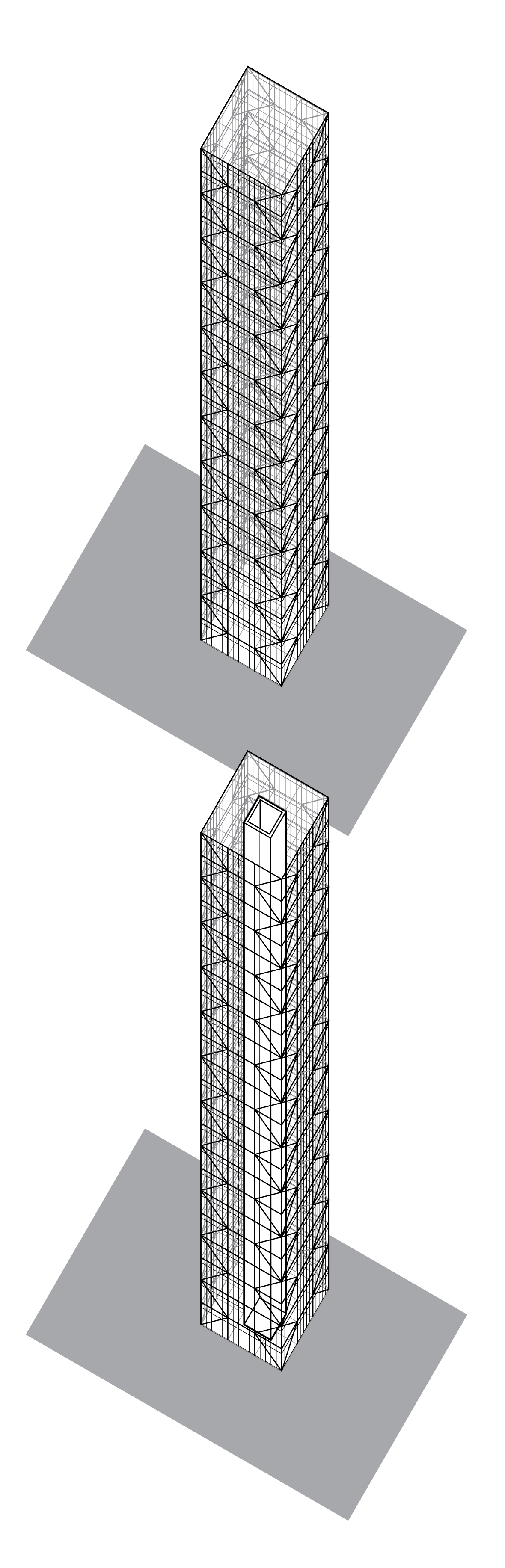
Independientemente de la localización del núcleo, el mejor sistema de arriostramiento es aquel que está cerrado sobre sí mismo, de modo que los distintos elementos de arriostramiento formen un tubo completo. Ejemplos de esta solución son las torres de entramado tubular con una malla continua pilares y vigas conectadas rígidamente en todo el perímetro del edificio; los núcleos triangulados, con todos sus lados rigidizados mediante barras diagonales; y los núcleos de hormigón armado con dinteles fuertemente armados sobre los huecos para atar los distintos segmentos murarios. Estas formas cerradas son preferibles por su mayor rigidez a torsión.

Las estructuras de edificios en altura pueden contar con un único o varios núcleos. Las estructuras con un único núcleo de grandes dimensiones pueden soportar forjados volados, o combinarse con vigas estabilizadoras en la cubierta o en tramos intermedios, para proporcionar espacios diáfanos en todas las plantas.

Pórticos triangulados
En edificios en altura, las estructuras de pórticos triangulados utilizan cerchas verticales para resistir las cargas laterales. Estas cerchas verticales utilizan los pilares perimetrales como cordones y diagonales en K, V o X como barras interiores, eliminando de forma eficaz la flexión debida a las cargas laterales en los pilares. Los pilares, las vigas y las barras diagonales pueden estar conectadas mediante articulaciones, haciendo su fabricación y montaje más económico que si se requiriesen conexiones rígidas. La triangulación aumenta la rigidez de la estructura, modera el desplazamiento lateral y permite mayores alturas globales. Por lo general, los pórticos triangulados se utilizan en combinación con otros sistemas de arriostramiento para la construcción de edificios más altos.

Los pórticos con triangulaciones excéntricas utilizan barras diagonales conectadas a las vigas del forjado que constituyen los elementos horizontales de la cercha. La excentricidad de las conexiones introduce esfuerzos cortantes y de flexión en el entramado, reduciendo su rigidez pero aumentando su ductilidad, lo cual supone una ventaja en regiones sísmicas, donde la ductilidad es un requisito importante del diseño de las estructuras. Los pórticos de barras excéntricas también tienen la capacidad de alojar aberturas más amplias para puertas y ventanas en su propio plano.

Si las barras diagonales se aumentan en escala para atravesar varias plantas, el sistema se aproxima más a la categoría de estructura de megapórticos.



Muros rigidizadores
Con frecuencia, los sistemas de muros rigidizadores se utilizan en estructuras de edificios en altura para proporcionar la resistencia y rigidez necesarias frente a las cargas laterales causadas por el viento y los terremotos. Por lo general, se ejecutan en hormigón armado, son relativamente delgados y tienen relaciones entre altura y anchura relativamente elevadas.

Los muros rigidizadores se comportan como ménsulas verticales empotradas en su base. Cuando dos o más muros rigidizadores en un mismo plano se conectan mediante vigas o losas, como en el caso de muros con aberturas de puertas o ventanas, la rigidez total del sistema puede exceder la suma de las rigideces parciales de los componentes. Esto se produce porque la viga de conexión hace que los muros actúen como una única unidad (como un gran pórtico rígido), restringiendo los movimientos de las ménsulas individuales. Cuando se diseñan para trabajar como una unidad, se conocen como muros acoplados.

Estructuras tubulares
Una estructura tubular utiliza todo el perímetro del edificio para resistir las cargas laterales. La estructura tubular básica puede entenderse más fácilmente como una viga en forma de tubo que forma una ménsula empotrada en el terreno, con una malla exterior constituida por pilares muy próximos entre sí y unidos rígidamente con vigas de gran canto. Ejemplos anteriores de sistemas tubulares, como las desaparecidas torres gemelas del World Trade Center de Nueva York, utilizaban pilares distanciados entre 1,2 y 4,6 m (4 y 15 pies) entre ejes, con vigas de canto de entre 61 y 122 cm (2 y 4 pies) de canto.

El tubo puede ser rectangular, circular o de otra forma relativamente regular. Puesto que los muros exteriores resisten la totalidad o la mayor parte de las cargas laterales, pueden eliminarse la mayoría si no todos los muros rigidizadores y las barras diagonales del interior. La rigidez de la fachada puede mejorarse añadiendo barras diagonales para crear un entramado triangulado.

Cuando un edificio flecta como lo haría una viga en voladizo sometida a una carga lateral, la deformación del entramado estructural provoca una distribución desigual de los esfuerzos entre los pilares. Los pilares de esquina sufren mayores esfuerzos y la distribución a lo largo del perímetro no es lineal, siendo menor en la parte central. Puesto que el comportamiento de la estructura tubular es una combinación entre el de la ménsula y el del pórtico sencillo, los lados del tubo paralelos a la carga lateral tienden a actuar como pórticos independientes de múltiples vanos, debido a la flexibilidad de los pilares y las vigas. Esto provoca que los pilares centrales de estos pórticos se desplacen con retardo respecto de los situados en las esquinas, comportamiento que se aleja del que sería típico de un auténtico tubo. Este fenómeno se conoce como cortante diferido.

Los ingenieros han ideado diversos mecanismos para reducir el efecto del cortante diferido; el más destacado de ellos es el empleo de cinturones de rigidez, unos elementos situados en los planos perimetrales, a menudo en plantas dedicadas a las instalaciones, que ayudan a igualar los esfuerzos de tracción y compresión debidos al cortante diferido.

Carga lateral
Carga lateral
Cinturones de rigidez
Cinturones de rigidez
Cinturones de rigidez
Cinturones de rigidez

Con cortante diferido

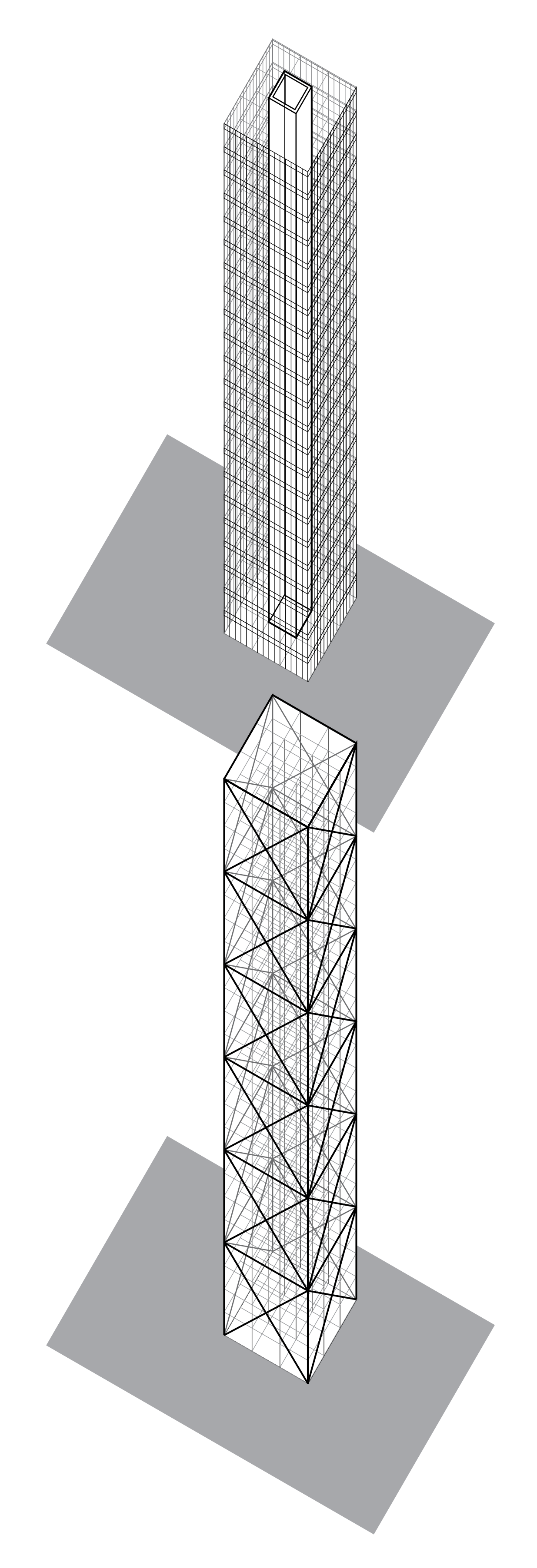
Sin cortante diferido

- El cortante diferido produce una distribución desigual de los esfuerzos.

- Los cinturones de rigidez ayudan a equilibrar la distribución de los esfuerzos.

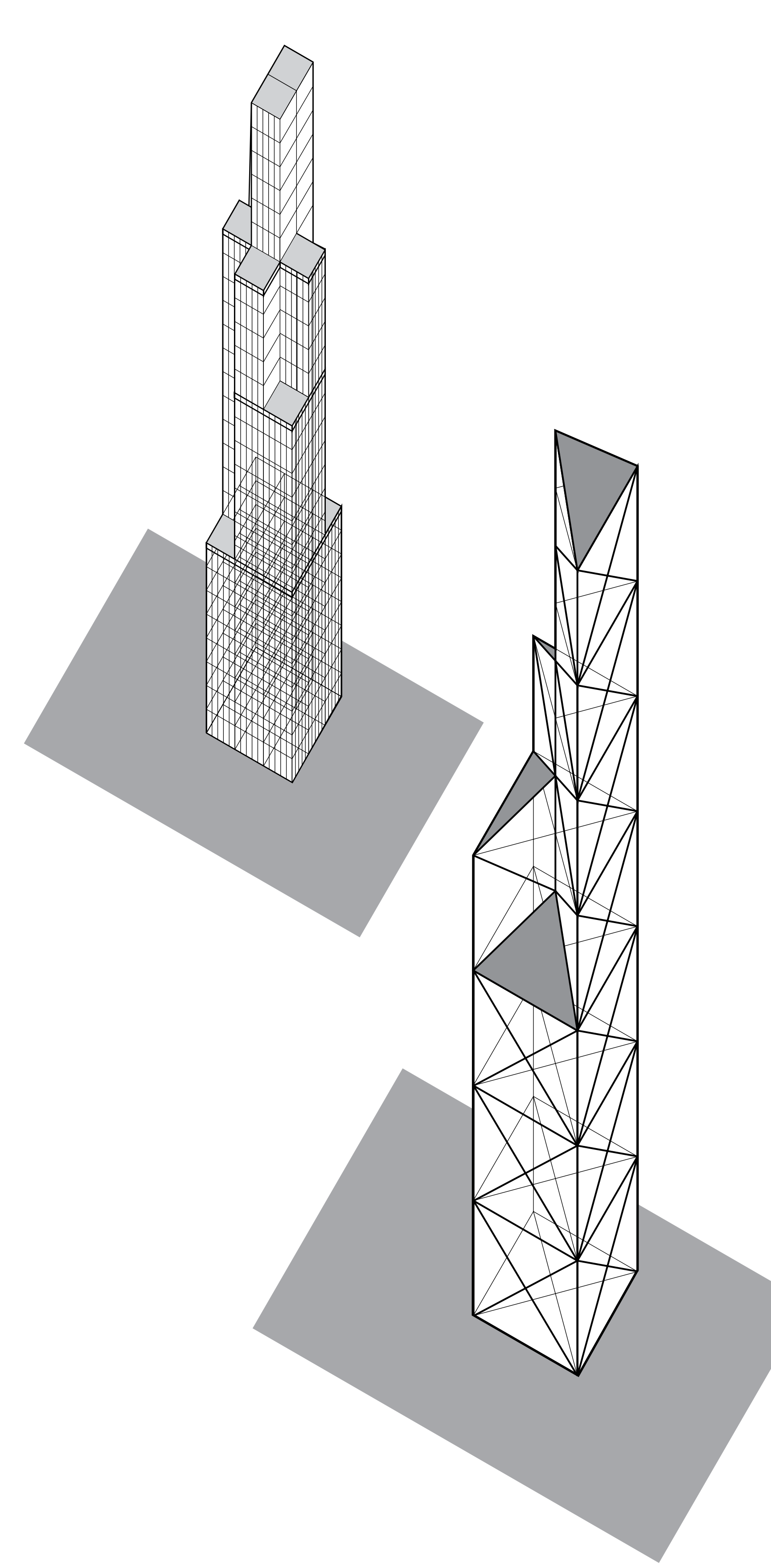
Estructuras de tubo dentro de tubo
La rigidez de las estructuras tubulares puede mejorarse considerablemente utilizando un núcleo estructural que no solo resista las cargas gravitatorias, sino también las laterales. Los diafragmas de cada planta unen los tubos exterior e interior, permitiendo que ambos respondan a las cargas laterales como una unidad. El sistema es conocido como estructura de tubo dentro de tubo.

El tubo exterior, que tiene dimensiones mayores en planta, puede resistir las cargas de vuelco con bastante eficiencia; sin embargo, las aberturas requeridas en este tubo comprometen su capacidad para resistir los esfuerzos de cortante, especialmente en las plantas inferiores. Por su parte, la solidez del tubo interior, que puede construirse con muros rigidizadores, pórticos triangulados o pórticos rígidos, puede resistir mejor el cortante de cada planta.



Estructuras de tubo triangulado
Toda la debilidad inherente a las estructuras tubulares reside en la flexibilidad de sus vigas de atado. Los tubos triangulados pueden rigidizarse mediante la adición de grandes diagonales al entramado perimetral, como la torre Hancock de Chicago, con sus 100 plantas. Cuando se añaden diagonales a una estructura tubular, se denomina estructura de tubo triangulado.

Las grandes barras diagonales, junto a las vigas del entramado, proporcionan una rigidez frente a cargas laterales equivalente a la de un muro. Esta rigidización de los entramados perimetrales elimina el problema del cortante diferido que sufren las estructuras tubulares convencionales. Las diagonales soportan las cargas laterales principalmente mediante esfuerzos axiales, al tiempo que actúan como pilares inclinados a la hora de transmitir cargas gravitatorias de los forjados, permitiendo que los pilares perimetrales puedan estar más espaciados.



Estructuras de haz de tubos
Una estructura de haz de tubos consiste en un conjunto de tubos individuales unidos entre sí para que funcionen como una unidad. Los tubos sencillos están limitados en altura debido a su esbeltez (relación altura-anchura). La combinación de varios tubos para que trabajen al unísono aumenta considerablemente su rigidez y reduce el balanceo de las plantas superiores. Una debilidad específica de este sistema reside en el acortamiento diferencial de los pilares.

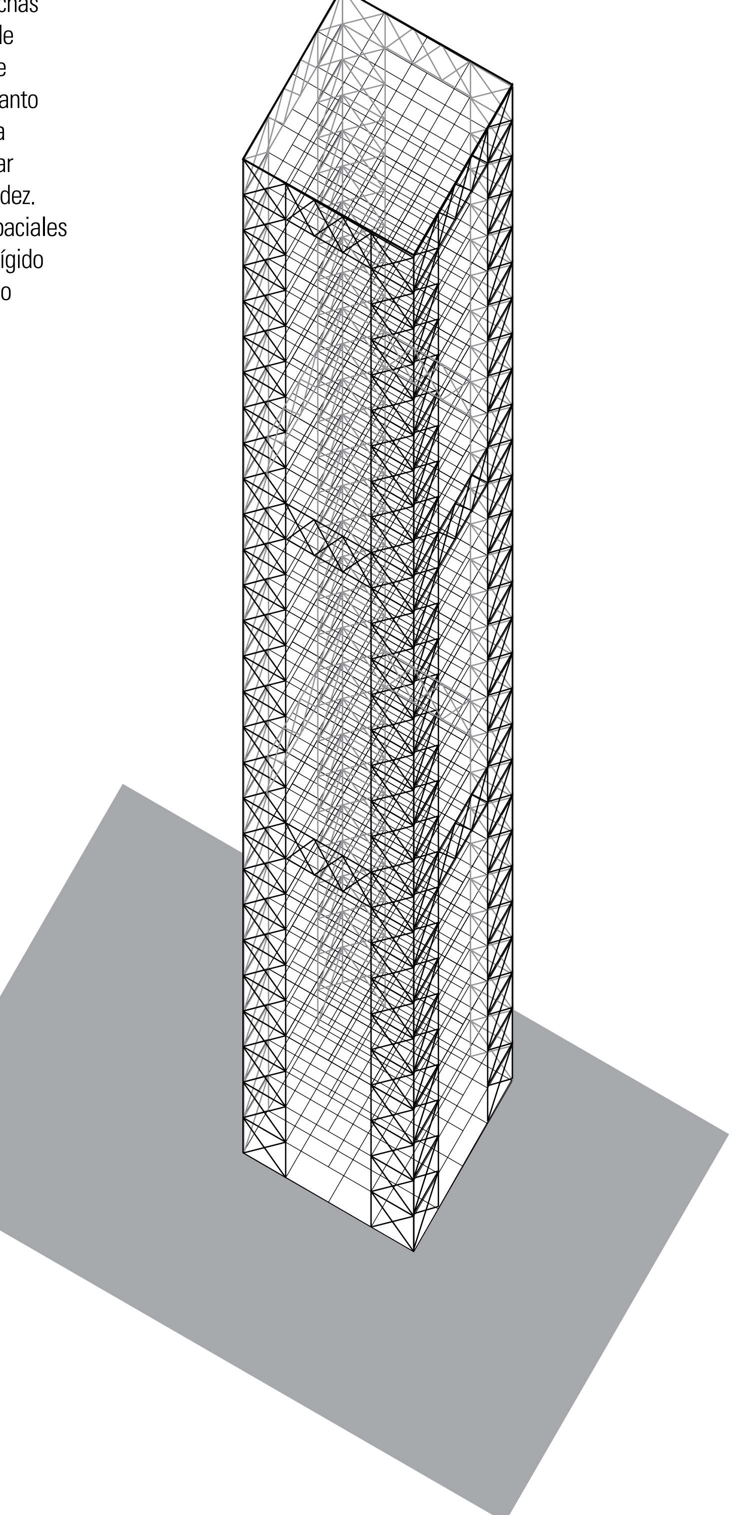
La Torre Sears de Chicago, edificio de 110 plantas diseñado por SOM, está constituido por nueve tubos de entramado de acero, cada uno con su propia integridad estructural. Puesto que cada uno de los tubos tiene capacidad suficiente para resistir la carga de viento por sí mismo, pueden agruparse en diversas configuraciones y llegar a distintas alturas. Solo dos de los módulos alcanzan la altura total del edificio (440 m). Dos terminan en la planta 55, otros dos en la 66 y tres más en la 90. La disminución de la altura de los módulos reduce el balanceo provocado por el viento, ya que rompe el flujo del mismo. Cada uno de los nueve módulos consiste en un cuadrado de 22 × 22 m y comparte pilares interiores, configurando dos diafragmas que se intersectan y dividen al edificio en tres partes en las dos direcciones y rigidizan toda la estructura. Los diafragmas interiores actúan como las almas de una enorme viga en ménsula frente a los esfuerzos de cortante, minimizando así el cortante diferido.

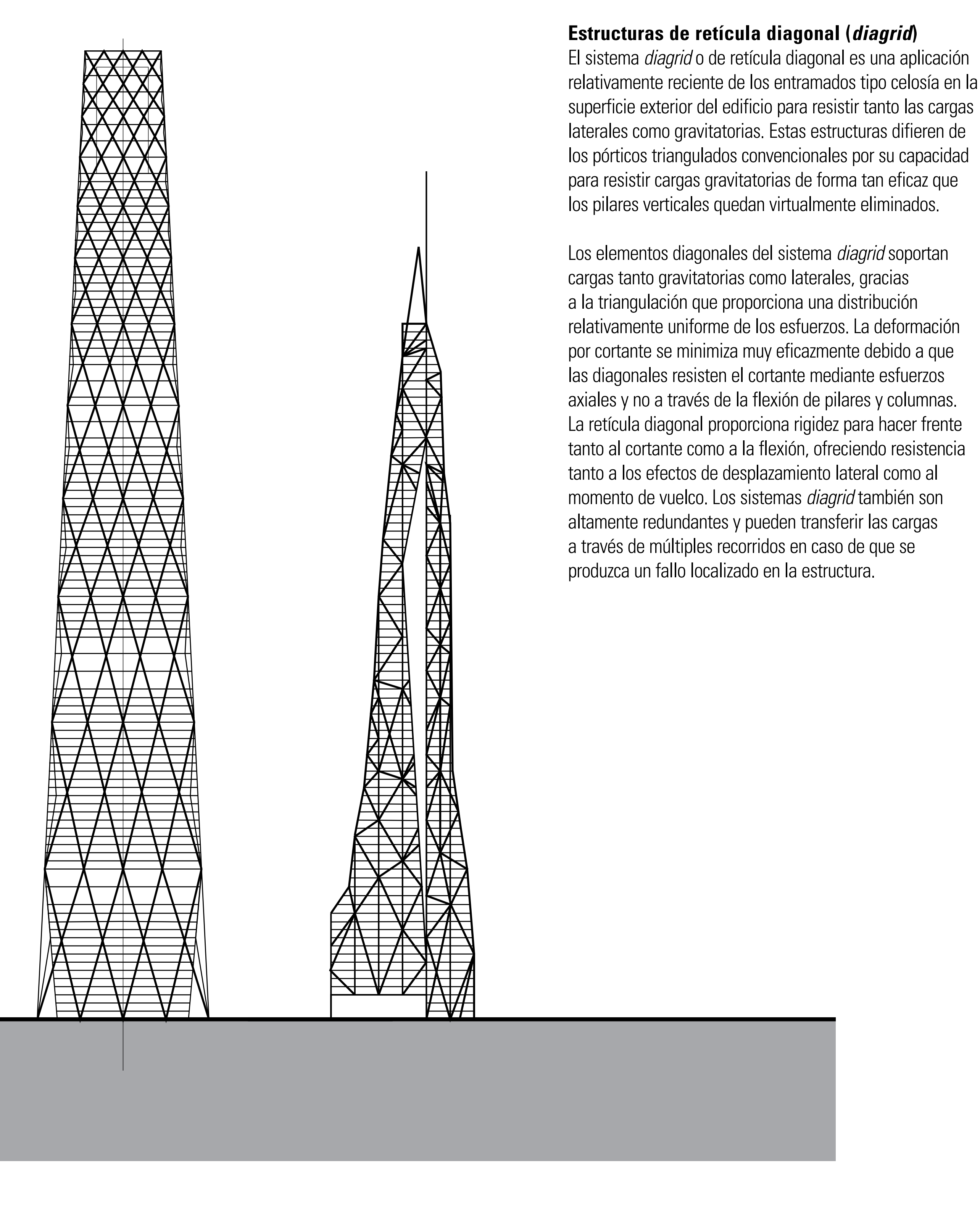
Estructuras de retícula espacial
Una estructura de retícula espacial es una estructura tubular modificada sobre la idea de apilar prismas triangulados que contienen diagonales y conectan el entramado exterior con el interior. La retícula espacial resiste tanto las cargas laterales como las verticales. A diferencia de las estructuras tubulares más habituales, con diagonales situadas en los planos perimetrales, el sistema de retícula espacial introduce diagonales que se convierten en partes destacadas del espacio interior.

Un ejemplo destacado de un sistema de retícula espacial es el edificio del Banco de China en Hong Kong, de 72 plantas, proyectado por I. M. Pei, el cual consiste en prismas triangulares de diferentes alturas, que transfieren las cargas internas a las esquinas del edificio a intervalos de 13 plantas. La retícula espacial resiste las cargas laterales y transfiere casi todo el peso del edificio a los cuatro superpilares de las esquinas.

Estructuras de megapórticos

Cuando los edificios superan las 60 plantas, las estructuras de megapórticos se convierten en una posibilidad viable. Las estructuras de megapórticos utilizan megapilares en las esquinas del edificio, y compuestos por los cordones de entramados triangulados, atados mediante cerchas de varias plantas de altura, situadas a intervalos de 15-20 plantas, donde suelen situarse normalmente las plantas de instalaciones. Se puede utilizar el canto completo de los forjados de cada planta y la altura completa de las plantas de instalaciones para crear un subsistema horizontal de gran resistencia y rigidez. La conexión de estas enormes vigas o cerchas espaciales con los megapilares proporciona un megapórtico rígido que puede rellenarse con un entramado secundario más ligero de diseño convencional.





Estructuras de retícula diagonal (*diagrid*)
El sistema *diagrid* o de retícula diagonal es una aplicación relativamente reciente de los entramados tipo celosía en la superficie exterior del edificio para resistir tanto las cargas laterales como gravitatorias. Estas estructuras difieren de los pórticos triangulados convencionales por su capacidad para resistir cargas gravitatorias de forma tan eficaz que los pilares verticales quedan virtualmente eliminados.

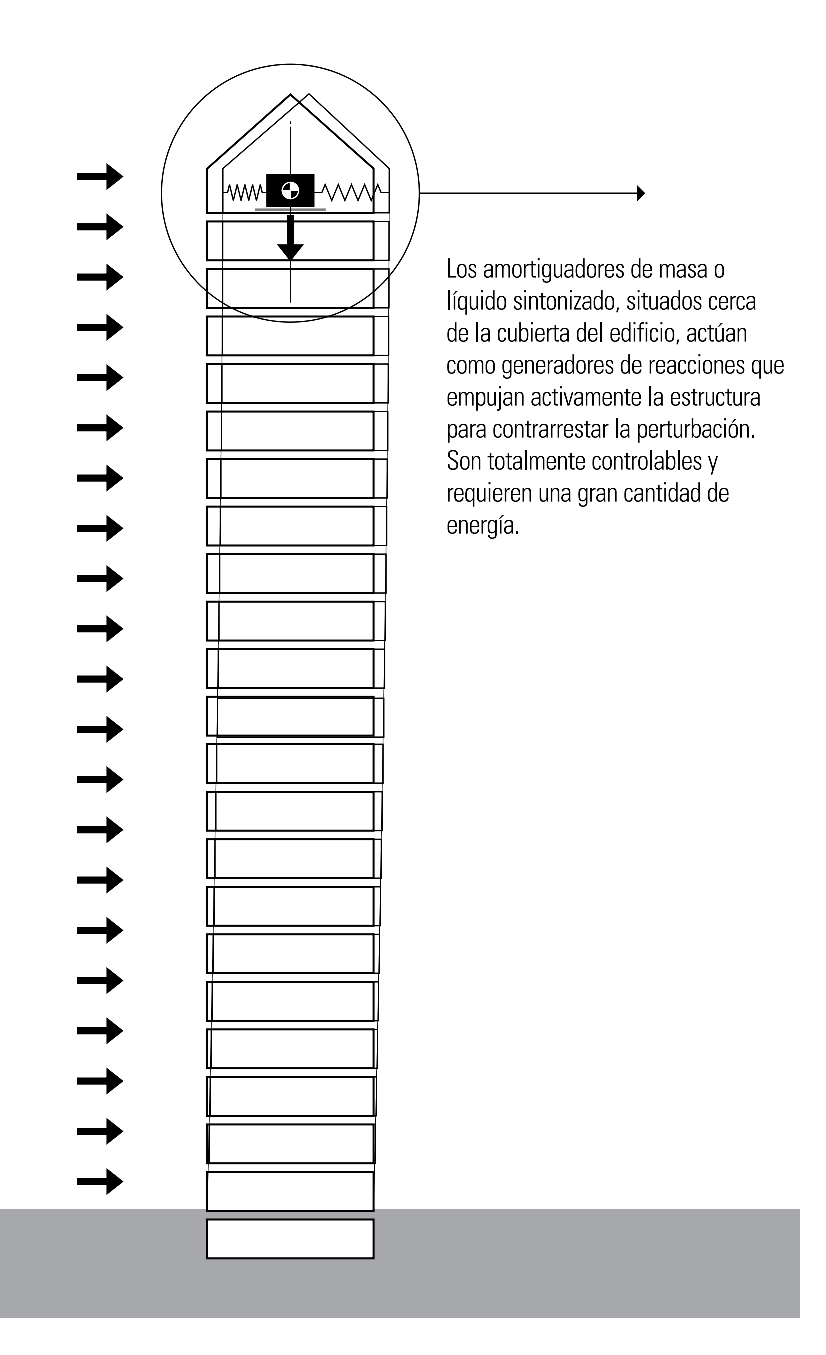
Los elementos diagonales del sistema *diagrid* soportan cargas tanto gravitatorias como laterales, gracias a la triangulación que proporciona una distribución relativamente uniforme de los esfuerzos. La deformación por cortante se minimiza muy eficazmente debido a que las diagonales resisten el cortante mediante esfuerzos axiales y no a través de la flexión de pilares y columnas. La retícula diagonal proporciona rigidez para hacer frente tanto al cortante como a la flexión, ofreciendo resistencia tanto a los efectos de desplazamiento lateral como al momento de vuelco. Los sistemas *diagrid* también son altamente redundantes y pueden transferir las cargas a través de múltiples recorridos en caso de que se produzca un fallo localizado en la estructura.

Aunque para conseguir un comportamiento dinámico satisfactorio suele ser necesario rigidizar la estructura para reducir el balanceo y limitar las deformaciones debidas a cargas laterales, así como aumentar considerablemente la cantidad de material de la estructura respecto de lo que sería preciso para resistir exclusivamente las cargas verticales, existen alternativas más económicas, basadas en sistemas de amortiguación. Estos sistemas mitigan los efectos de la vibración inducida por el viento o los terremotos que sacuden la estructura de los edificios en altura, así como sus elementos no portantes y sus instalaciones, a base de absorber y mitigar una porción significativa de la energía transmitida por el edificio durante períodos de vientos intensos o actividad sísmica. Los sistemas de amortiguación restringen los movimientos y las deformaciones dentro de límites tolerables, moderan las dimensiones de los elementos estructurales y mejoran la comodidad de los ocupantes frente a la percepción de balanceo.

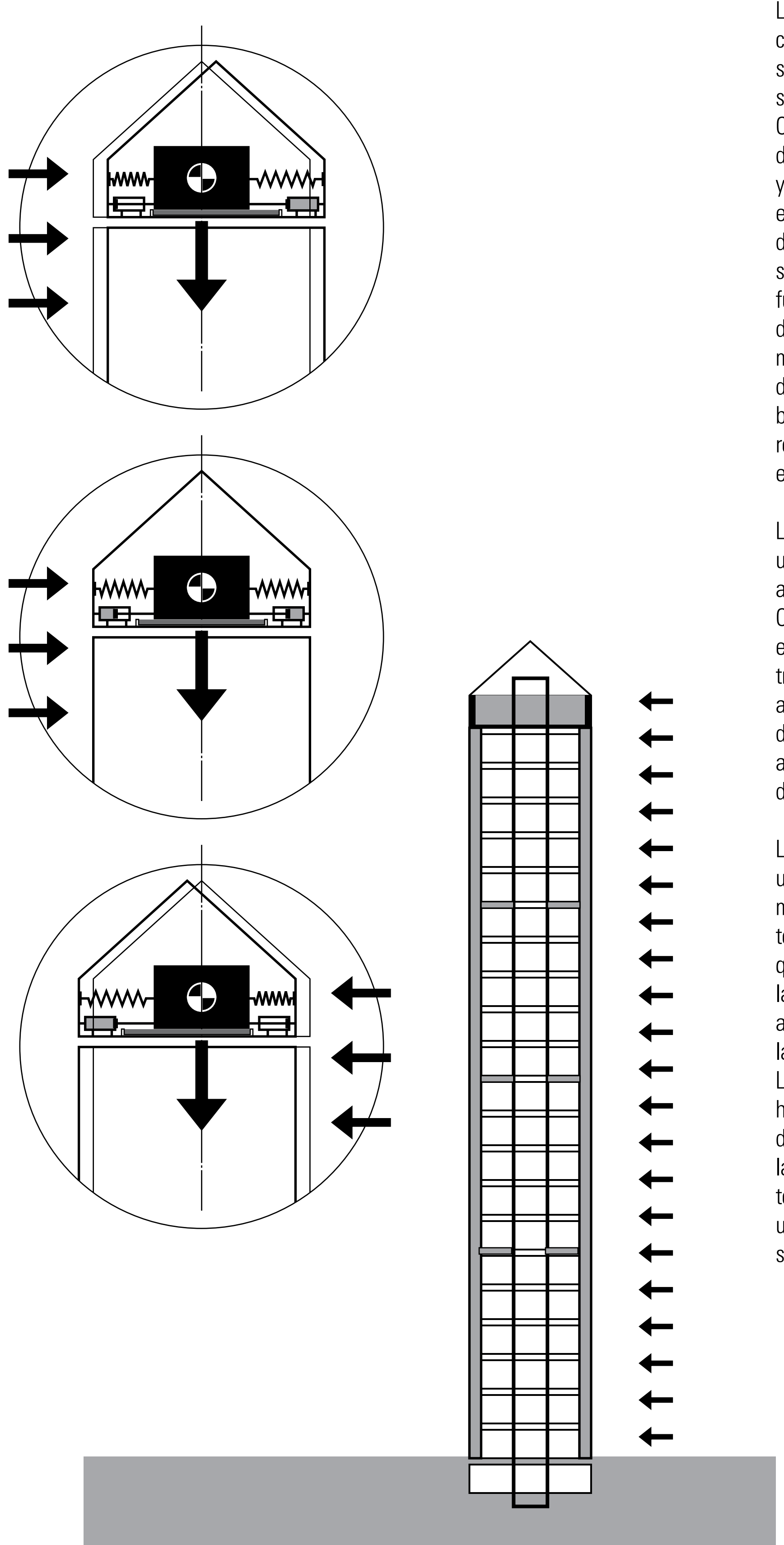
El sistema de aislamiento sísmico descrito en el capítulo quinto constituye un eficaz sistema de amortiguación para edificios rígidos de hasta siete plantas de altura. En el caso de edificios más altos, con riesgo de vuelco, existen tres tipos de sistemas de amortiguación que se utilizan para controlar el exceso de desplazamientos y deformaciones y asegurar el confort de los ocupantes: sistemas de amortiguación activa, de amortiguación pasiva y de amortiguación aerodinámica.

Sistemas de amortiguación activa
Los sistemas de amortiguación que necesitan energía para hacer funcionar motores, sensores y controles informatizados se conocen como sistemas activos, y aquellos que no, sistemas pasivos. El inconveniente más significativo de los sistemas de amortiguación activa es que necesitan una fuente externa de energía para regular su movimiento, y puede fallar durante un movimiento sísmico si se corta el suministro de energía. Por esta razón, los sistemas de amortiguación activa son más recomendables para edificios sometidos a cargas de viento que para edificios con riesgo de sufrir terremotos, ya que los movimientos sísmicos provocan cargas cíclicas impredecibles.

Los sistemas de amortiguación semiactiva combinan características de los sistemas de amortiguación pasiva y activa. Más que empujar sobre la estructura del edificio, utilizan una reacción controlada para reducir el movimiento, proporcionan un control total y solo requieren un suministro energético reducido.



Los amortiguadores de masa o líquido sintonizado, situados cerca de la cubierta del edificio, actúan como generadores de reacciones que empujan activamente la estructura para contrarrestar la perturbación. Son totalmente controlables y requieren una gran cantidad de energía.



Los amortiguadores de masa sintonizadas son sistemas constituidos por una gran masa de hormigón o acero, suspendidos de un cable como un péndulo, o montados sobre carriles, en las plantas superiores de un edificio. Cuando las cargas laterales provocan la inclinación del edificio, unos sensores detectan el desplazamiento y ponen en marcha un motor para desplazar el peso en sentido opuesto y minimizar o neutralizar el desplazamiento del edificio. Los amortiguadores de masa sintonizada utilizan pesos perfectamente calibrados en función del peso del edificio, la localización de la masa dentro del edificio, el período de retardo y el tipo de movimiento que se debe contrarrestar. Los amortiguadores de masa sintonizada son muy eficaces para reducir el balanceo de un edificio durante los vientos intensos, pero resultan menos satisfactorios para controlar la flexión del edificio durante episodios sísmicos.

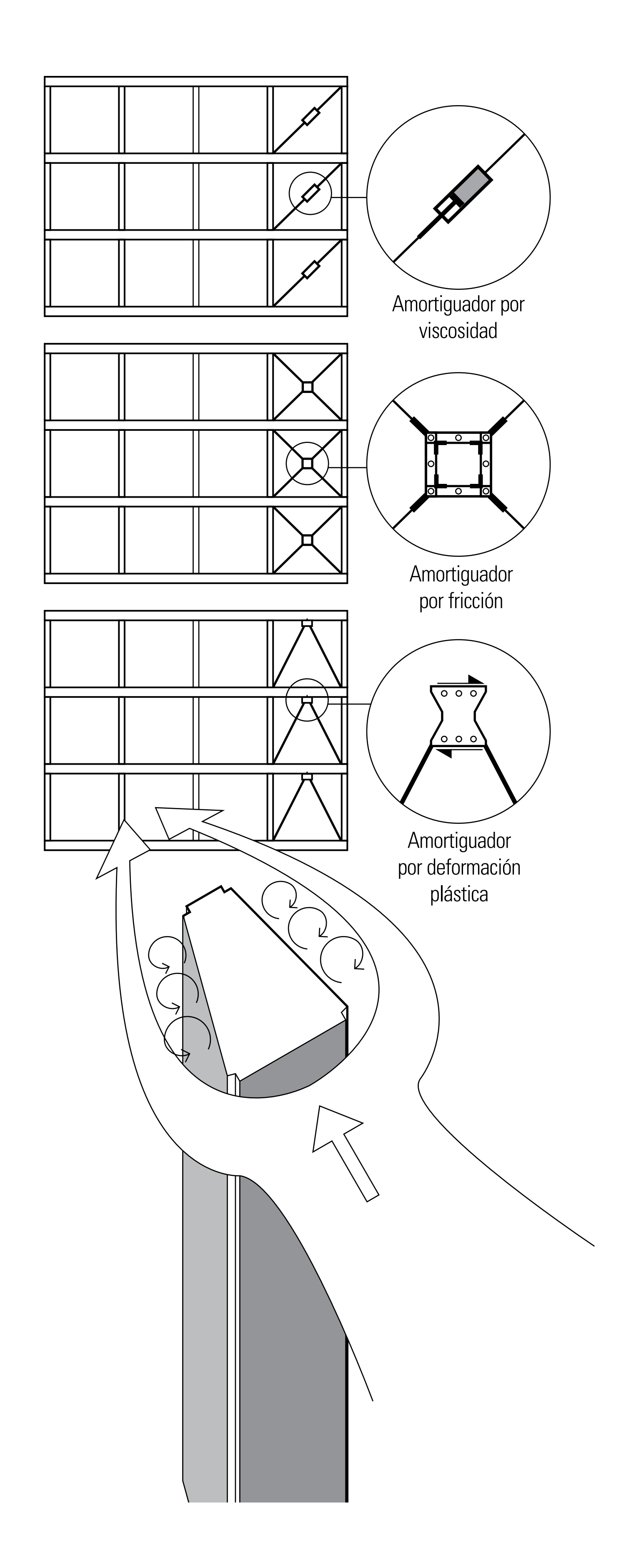
Los amortiguadores de líquido sintonizado utilizan agua u otro líquido en un depósito diseñado para proporcionar al movimiento del agua la frecuencia natural perseguida. Cuando un edificio se mueve bajo una carga de viento, el agua del tanque se balancea en la dirección opuesta, transfiriendo su moméntum o cantidad de movimiento al edificio, y contrarrestando los efectos de la vibración del viento. Un beneficio de utilizar un sistema de amortiguación de líquido sintonizado es la disponibilidad del agua del tanque en caso de incendio.

Los sistemas de amortiguación de tendones activos utilizan un control informatizado que responde a los movimientos del edificio haciendo actuar a elementos tensores conectados a una serie de tendones de acero que se sitúan adyacentes a los principales soportes de la estructura. Los tensores aplican esfuerzos de tracción a los tendones para contrarrestar la carga que provoca la flexión de la estructura y amortiguar su oscilación. Los sistemas de pulso activo consisten en pistones hidráulicos situados en la cimentación o entre las plantas de un edificio para reducir significativamente las cargas laterales que actúan sobre él. Tantos los sistemas de tendones activos como los pasivos pueden también utilizarse para contrarrestar los efectos de torsión si se sitúan en posiciones excéntricas.

Sistemas de amortiguación pasiva
Los sistemas de amortiguación pasiva se incorporan dentro de una estructura para absorber una porción de la energía procedente de las cargas sísmicas o de viento y reducir la necesidad de elementos portantes primarios para disipar la energía. Hay una diversidad de amortiguadores comerciales disponibles en el mercado, que utilizan diversos materiales para obtener distintos grados de rigidez y amortiguación. Entre estos podemos citar los amortiguadores que funcionan por viscosidad, por fricción y por deformación plástica.

Los amortiguadores viscoelásticos y viscosos actúan como absorbentes de grandes impactos y disipan energía en un amplio rango de frecuencias. Pueden diseñarse para integrarse en elementos y conexiones estructurales y controlar tanto la respuesta frente al viento como frente a sismos.

Los amortiguadores por fricción solo disipan energía cuando el deslizamiento de dos superficies en contacto supera la resistencia por rozamiento entre las mismas. Los amortiguadores por deformación plástica disipan energía gracias a la ductilidad de los metales con que están fabricados. Tanto los amortiguadores por fricción como por deformación plástica se diseñan para aplicaciones sismorresistentes y no resultan adecuados para mitigar movimientos debidos al viento.

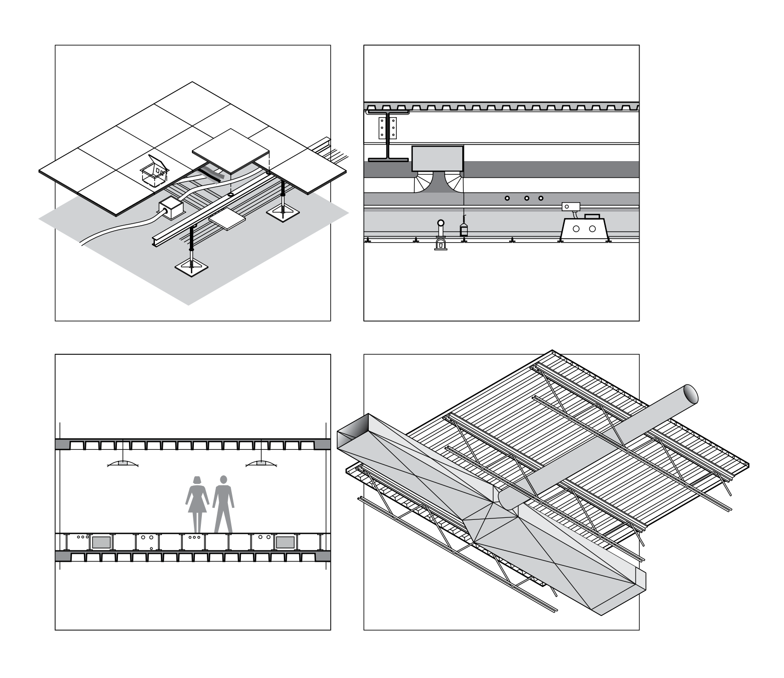


Sistemas de amortiguación aerodinámica
El movimiento inducido por el viento en los edificios en altura tiene tres modos fundamentales de acción: arrastre (en la misma dirección del viento), viento cruzado (transversal a la dirección del viento) y torsión. De estas, las presiones de viento cruzado, que se alternan entre las dos fachadas paralelas a la dirección del viento, y que están provocadas por los torbellinos, puede inducir vibraciones transversales lo bastante importantes como para afectar al confort de los ocupantes.

La amortiguación aerodinámica se refiere a la manera en la cual los edificios pueden adoptar una forma que afecte a los flujos de aire en torno suyo, modificando las presiones sobre sus superficies y mitigando el movimiento de la estructura. En general, los objetos con la forma más aerodinámica, como los edificios de planta circular, opondrán mucha menor resistencia a los flujos de aire que estructuras comparables, pero de planta rectangular, lo cual tiene como resultado menores cargas de viento. Puesto que las cargas de viento aumentan con la altura del edificio, dotar de una forma aerodinámica a un edificio en altura constituye un enfoque que puede emplearse para mejorar su comportamiento frente a las cargas de viento y las deformaciones provocadas por ellas. Las modificaciones que implica este enfoque incluyen plantas con forma redondeada o biselada, retranqueos, cubiertas de formas escultóricas, esquinas de geometría modificada, o la adición de aberturas que atraviesen el edificio.

8

Integración de instalaciones



Este capítulo trata sobre la integración de las instalaciones mecánicas, eléctricas y de fontanería en los sistemas estructurales de los edificios. Estas instalaciones, fundamentales para mantener un entorno construido cómodo, saludable y seguro para los ocupantes, generalmente incluyen los siguientes elementos:

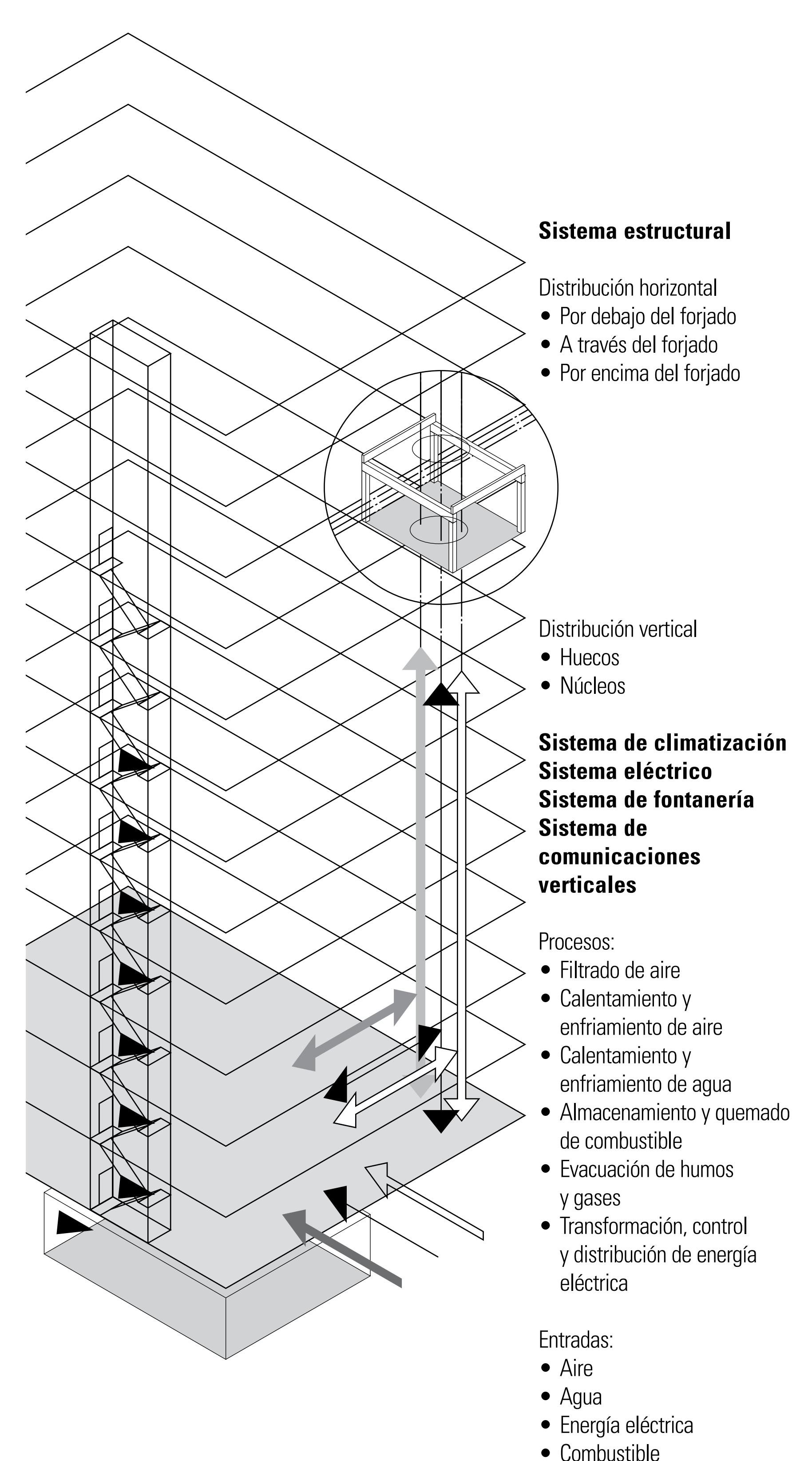
- Sistemas de climatización que acondicionan el aire de los espacios interiores de un edificio. Este acondicionamiento puede incluir ventilación, calefacción, refrigeración, humidificación y filtración.

- Sistemas eléctricos que proporcionan la energía necesaria para iluminación, motores y aparatos eléctricos, así como comunicaciones de voz y datos.

- Sistemas de fontanería que proporcionan agua potable, evacuación de aguas grises y residuales, control del agua de lluvia y suministro de agua a los sistemas de extinción de incendios.

El equipo y las instalaciones de estos sistemas requieren un espacio considerable, así como recorridos de distribución a lo largo de todo el edificio. Normalmente están ocultos a la vista dentro de cámaras o salas especiales, pero en todo caso necesitan ser accesibles para las labores de inspección y mantenimiento. Cumplir con todos los requisitos implica una coordinación e integración cuidadosas en la planificación y la disposición de estas instalaciones en relación con el sistema estructural.

Además de los conductos y los espacios necesarios para los sistemas de climatización, de suministro eléctrico y de fontanería, hay que contar con el sistema de circulaciones que proporciona acceso a las salidas de emergencia y que también debe atravesar el sistema estructural en los edificios de múltiples plantas. Los huecos verticales y los espacios que hay que reservar en cada planta para pasillos, escaleras, ascensores y escaleras mecánicas no solo influye en la disposición del sistema estructural, sino que, en algunos casos, pasa a convertirse en parte integral de la propia estructura.

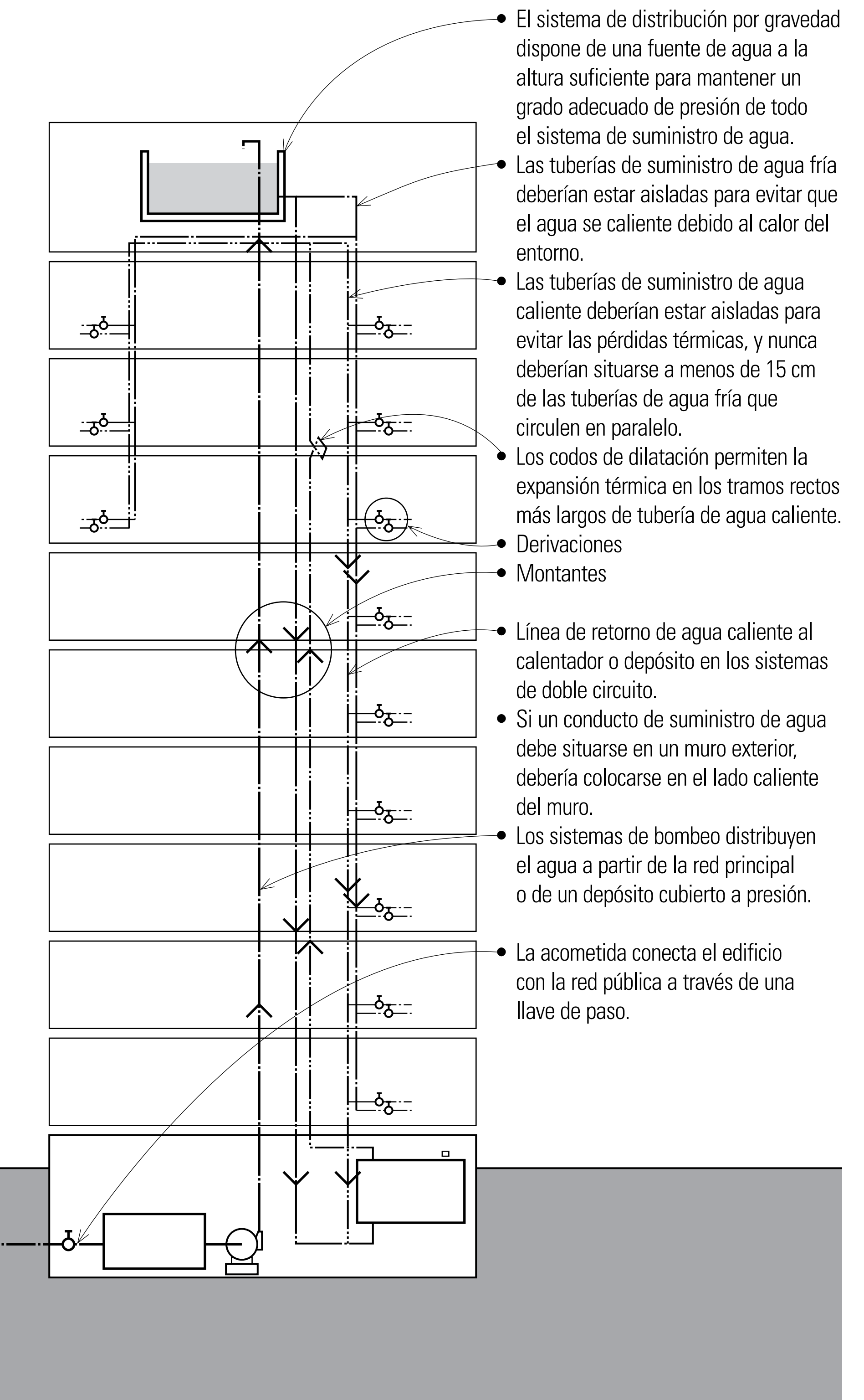


Sistemas de suministro de agua

Los sistemas de suministro de agua funcionan a presión. La presión de servicio debe ser suficiente para absorber las pérdidas de presión debidas a la altura y a la fricción producida en conducciones y válvulas. Los sistemas públicos de suministro de agua potable suelen tener una presión de unos 3 bar (345 kPa), suficiente para dar servicio a edificios de hasta seis plantas. Para edificios más altos, o en lugares donde la presión sea insuficiente, el agua debe bombearse hasta un depósito elevado, normalmente en cubierta, para dar servicio por gravedad. Parte de esta agua se utiliza como reserva para los sistemas de extinción de incendios.

El suministro de agua a presión permite el empleo de conductos de menor sección y una distribución más libre de estos. Las líneas de suministro pueden alojarse dentro de los forjados y de las cámaras de aire de los muros. Su distribución, en todo caso, debería coordinarse con la estructura y con otras instalaciones, como el sistema de saneamiento, que hace recorridos similares pero es mucho más voluminoso. Las conducciones deberían estar fijadas verticalmente en cada planta y horizontalmente cada 1,8-3 m. Se pueden utilizar conectores ajustables para asegurar una fijación adecuada a lo largo de los tramos horizontales para que garantice un vaciado correcto.

- Los calentadores de agua son aparatos eléctricos o de gas que calientan y almacenan el agua. En grandes instalaciones, pueden requerirse varios depósitos. Como alternativa pueden utilizarse calentadores a demanda que calientan el agua en el punto y en el momento en el que se produce la demanda; estos sistemas reducen la necesidad de contar con depósitos de agua caliente, pero requieren un sistema de evacuación de humos si funcionan con combustible. También es posible calentar agua con instalaciones solares, ya sea como fuente primaria de agua caliente (en climas con mayor insolación) o sistema de precalentamiento junto con un sistema convencional de agua caliente.



Sistemas de saneamiento
El sistema de suministro de agua termina en cada aparato de fontanería. Cuando el agua se ha utilizado, entra en el sistema de saneamiento. El objetivo primario de este sistema de evacuación consiste en evacuar los residuos líquidos y orgánicos tan rápido como sea posible. Como el sistema de saneamiento funciona por gravedad, sus conducciones son mucho más voluminosas que las de suministro de agua, que funcionan a presión. Las líneas de saneamiento se dimensionan según su posición dentro del sistema y número de aparatos al que sirven.

La distribución del sistema de saneamiento debe ser lo más directa posible para evitar el depósito de sólidos y atascos. Los registros deben estar localizados de forma que pueda accederse a todos los conductos para eliminar los atascos.

- Las derivaciones conectan uno o más aparatos a la bajante.
- Las líneas horizontales de saneamiento deberían tener una pendiente mínima del 1 % para tuberías de hasta Ø 75 mm y del 2 % para tuberías de sección mayor.
- El desagüe de un aparato se extiende desde su salida hasta su conexión con una bajante.
- Las bajantes de fecales evacuan las descargas de inodoros y urinarios hasta los colectores principales del edificio.
- Las bajantes de aguas grises se encargan de evacuar las descargas de todos los aparatos excepto inodoros y urinarios.
- Debe limitarse al mínimo el número de codos en las bajantes.
- El colector es la parte más baja del sistema de saneamiento, recibe las descargas de las bajantes dentro de los límites del edificio y las dirige por gravedad hacia la acometida de la alcantarilla.
- Las entradas de aire fresco permiten la entrada de aire limpio al sistema de saneamiento justo antes o en la misma arqueta de arranque.
- La acometida general del edificio conecta el sistema de saneamiento del edificio con la red pública de alcantarillado.

Sistemas de ventilación
El sistema de ventilación permite la salida de los gases sépticos y la entrada de aire fresco en el sistema de saneamiento, protegiendo el sellado de la arqueta frente a los retornos y los efectos de sifón.

- Ventilación primaria prolongación de las bajantes por encima del aparato más elevado; debe extenderse más allá de la cubierta y mantener cierta distancia respecto de cualquier superficie vertical, abertura practicable o claraboya.
- Columnas de ventilación secundaria: proporcionan circulación de aire entre una derivación y la ventilación primaria, conectándose con la derivación entre la bajante y la conexión con el aparato más próximo.
- Los ramales de ventilación terciaria conectan distintos puntos de la derivación con la ventilación secundaria.
- Los ramales compartidos conectan con dos aparatos conectados al mismo nivel.
- Las columnas húmedas de ventilación permiten la ventilación a través de la misma tubería.
- Los ramales compartidos conectan con los desagües de dos aparatos al mismo nivel.
- Los ramales de ventilación conectan varios conductos de ventilación con las columnas de ventilación primarias o secundarias.
- Las columnas de ventilación pueden formarse como prolongación hacia arriba de los conductos verticales.
- Las columnas posteriores de ventilación se sitúan después de un sifón.
- Puede haber un circuito secundario de ventilación que conecte uno o más sifones con la columna primaria de ventilación.
- Registros
- En el colector se instala una arqueta para evitar el paso de gases desde el colector hacia el sistema de saneamiento.
- En caso de que existan aparatos debajo del nivel de la acometida al alcantarillado, será necesaria la instalación de un grupo de bombeo.

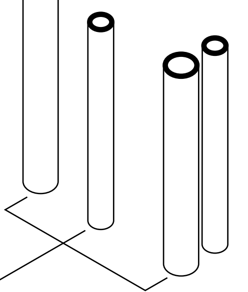
Sistema de evacuación de pluviales
Dirige el agua caída sobre las cubiertas o superficie pavimentadas, así como la drenada a través de las cimentaciones, hacia los depósitos de retención de pluviales del edificio o de la urbanización para su uso como agua de riego. La evacuación de pluviales requiere una pendiente mínima para asegurar la correcta circulación del agua.

Sistemas de protección contra incendios
En edificios comerciales e institucionales de grandes dimensiones, en los cuales la seguridad es una cuestión primaria, las normativas a menudo exigen la instalación de un sistema de rociadores automáticos, capaces de extinguir un conato de incendio antes de que se extienda; algunas normas permiten una ampliación de la superficie máxima admisible si se cuenta con tales instalaciones. En algunos países se exige también la instalación de sistemas de rociadores automáticos en edificios de viviendas.

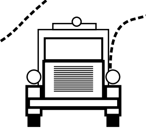
Los sistemas de rociadores automáticos están formados por conductos en los techos o por debajo de ellos, conectados con un suministro adecuado de agua y dotados de válvulas o rociadores que se abren automáticamente a una determinada temperatura. Los requisitos específicos de localización y funcionamiento de estos sistemas convierten la planificación y la coordinación del mismo en una prioridad diseñar los techos y huecos del forjado. Existen dos tipos principales de sistemas de rociadores automáticos: de tubería húmeda y de tubería seca.

- Los sistemas de tubería húmeda contienen agua a presión suficiente como para proporcionar una descarga inmediata y continua a través de los rociadores, una vez activados estos en un incendio.
- Los sistemas de tubería seca contienen aire a presión que se libera cuando se abren las válvulas de los rociadores y permiten que el agua fluya a través de las conducciones hasta la válvula abierta. Estos sistemas se utilizan cuando existe riesgo de heladas.
- Los sistemas de acción previa son sistemas en los cuales la abertura de las válvulas de los rociadores está controlada por dispositivos más sensibles a la presencia de fuego que los propios rociadores. Se utilizan en lugares donde una descarga accidental podría dañar materiales valiosos.
- Los sistemas Deluge cuentan con rociadores permanentemente abiertos, en los cuales el flujo del agua está controlado por una válvula conectada a un dispositivo detector de calor, humo o llamas.

- Los rociadores cuentan con una boquilla que dispersa y pulveriza el chorro de agua, y suelen estar controlados por un fusible que se funde a una temperatura determinada.
- Los montantes son tuberías de agua que suministran tomas de agua en todas las plantas.
- Los montantes secos contienen aire que es desplazado por el agua cuando se ponen en funcionamiento; los sistemas de montantes húmedos contienen agua en todo momento.
- Los sistemas de clase I proporcionan tomas de Ø 65 mm para su utilización por bomberos entrenados en el uso de los caudales a alta presión que proporcionan dichas tomas.



- Los sistemas de clase II proporcionan tomas de Ø 38 mm para su utilización por parte de cualquier persona que acuda al lugar del incendio.
- Los sistemas de clase III tienen tomas de ambos tipos para su utilización por usuarios normales o bomberos.
- La presión del agua en un montante o en un sistema de rociadores automáticos puede venir suministrada por la propia toma general del edificio, una motobomba del cuerpo de bomberos, una bomba antiincendios del propio edificio o un depósito situado en la cubierta.



Acometida

- En la parte exterior del edificio y próxima al suelo, se instala una toma que proporciona dos o más conexiones para poder bombear agua a un montante o a un sistema de rociadores por parte del cuerpo de bomberos.

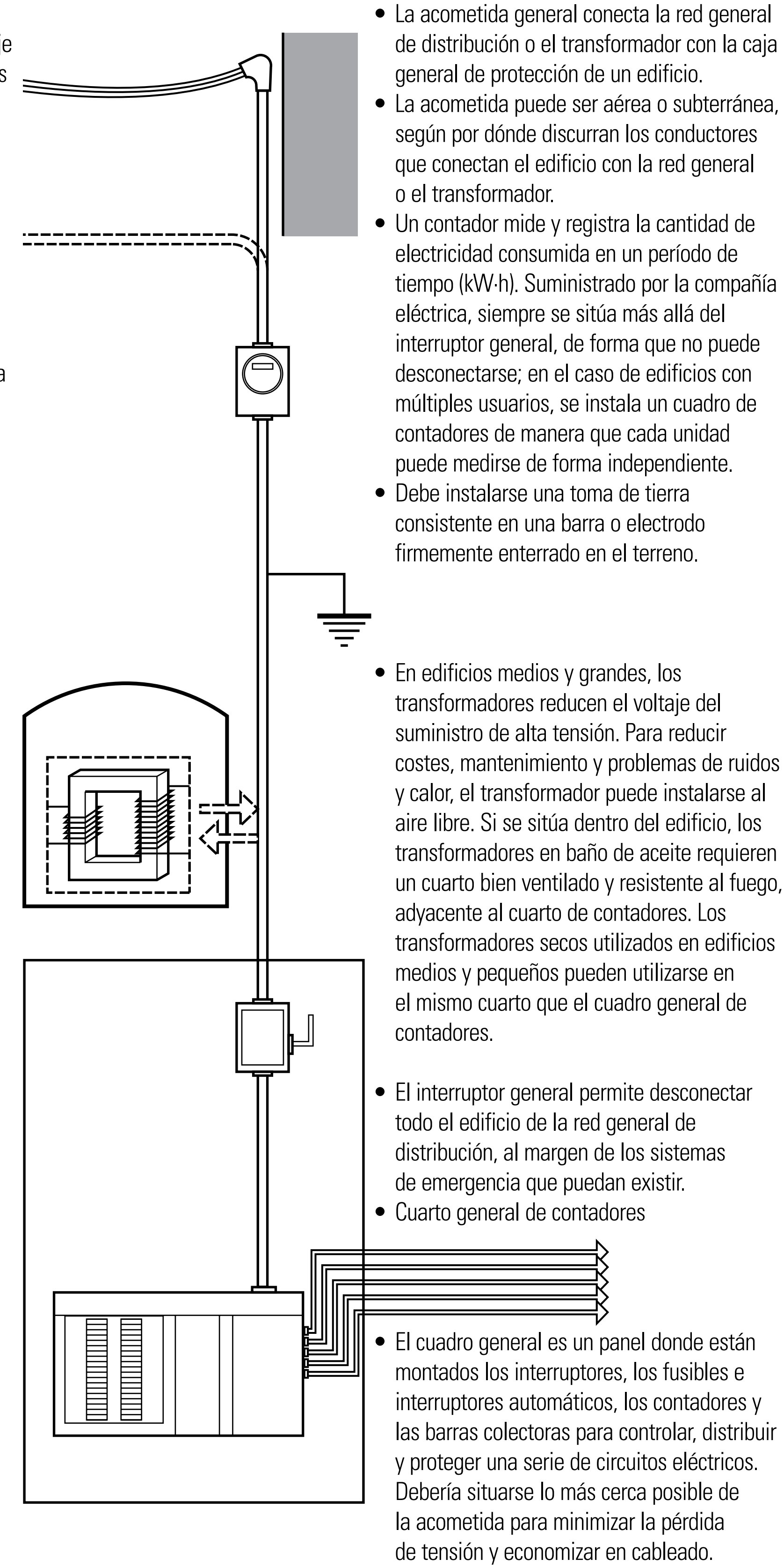
Sistemas eléctricos

Las compañías eléctricas suministran electricidad a un voltaje elevado para minimizar las pérdidas y las dimensiones de los aislamientos en los sistemas de transporte. Por razones de seguridad, los transformadores reducen este voltaje en los puntos de consumo. En los edificios existen tres sistemas de transporte de electricidad en función de su voltaje:

- La corriente monofásica de 120/240 voltios (V) es típica de edificios pequeños y de casi todos los residenciales. La empresa distribuidora mantiene los transformadores que proporcionan la corriente a un voltaje de 120/240 V a partir de la línea de distribución. El edificio solo necesita un contador, un interruptor general y un panel de distribución.
- La corriente trifásica de 120/208 V se utiliza en edificios de tamaño medio para el funcionamiento eficiente de los grandes motores que requieren los aparatos de ventilación, ascensores y escaleras mecánicas; también existe un suministro de 120/240 V para la iluminación y otros pequeños aparatos. Estas instalaciones cuentan con un transformador seco para reducir el voltaje del suministro de alta tensión, que se sitúa fuera del edificio o dentro de una subestación propia.
- La corriente trifásica de 277/480 V se utiliza en grandes edificios comerciales que requieren un suministro de energía de alta tensión. Estos edificios requieren un transformador de considerable tamaño alojado en su propio cuarto, y una sala de contadores independientes para separar los consumos de energía de los usuarios principales. Los grandes motores del edificio utilizarán corriente trifásica, mientras que la iluminación fluorescente utilizará corriente monofásica de 277 V A lo largo de todo el edificio, generalmente en cada planta, se dispondrán pequeños transformadores que proporcionen corriente monofásica a 120/240 V para todo tipo de aparatos eléctricos.

El sistema eléctrico de un edificio suministra electricidad para iluminación, calefacción y funcionamiento de todo tipo de equipos y aparatos eléctricos. Pueden ser necesarios generadores para el suministro de emergencia, encargado de hacer funcionar las luces de emergencia, los sistemas de alarma, los ascensores, los teléfonos, las bombas antiincendio y el equipo médico en hospitales.

La conexión a la red puede realizarse en superficie o bajo tierra. La conexión en superficie en menos costosa, de acceso más fácil para el mantenimiento, y puede transportar grandes voltajes a largas distancias. La conexión bajo tierra es más costosa, pero se utiliza en situación de alta densidad como las áreas urbanas. Los cables de suministro están situados en canalizaciones específicas que les protegen frente a incendios y permiten la sustitución en el futuro. Pueden disponerse cables enterrados sin protección para conexiones de edificios residenciales.



- La acometida general conecta la red general de distribución o el transformador con la caja general de protección de un edificio.
- La acometida puede ser aérea o subterránea, según por dónde discurran los conductores que conectan el edificio con la red general o el transformador.
- Un contador mide y registra la cantidad de electricidad consumida en un período de tiempo (kW·h). Suministrado por la compañía eléctrica, siempre se sitúa más allá del interruptor general, de forma que no puede desconectarse; en el caso de edificios con múltiples usuarios, se instala un cuadro de contadores de manera que cada unidad puede medirse de forma independiente.
- Debe instalarse una toma de tierra consistente en una barra o electrodo firmemente enterrado en el terreno.

- En edificios medios y grandes, los transformadores reducen el voltaje del suministro de alta tensión. Para reducir costes, mantenimiento y problemas de ruidos y calor, el transformador puede instalarse al aire libre. Si se sitúa dentro del edificio, los transformadores en baño de aceite requieren un cuarto bien ventilado y resistente al fuego, adyacente al cuarto de contadores. Los transformadores secos utilizados en edificios medios y pequeños pueden utilizarse en el mismo cuarto que el cuadro general de contadores.

- El interruptor general permite desconectar todo el edificio de la red general de distribución, al margen de los sistemas de emergencia que puedan existir.
- Cuarto general de contadores

- El cuadro general es un panel donde están montados los interruptores, los fusibles e interruptores automáticos, los contadores y las barras colectoras para controlar, distribuir y proteger una serie de circuitos eléctricos. Debería situarse lo más cerca posible de la acometida para minimizar la pérdida de tensión y economizar en cableado.

Circuitos eléctricos

Una vez determinada la demanda eléctrica de las distintas áreas de un edificio, debe disponerse el cableado que distribuya la electricidad hasta los distintos puntos de consumo. Se requieren circuitos independientes para los equipos de telecomunicaciones, de voz y de datos, las comunicaciones internas y de seguridad, así como los sistemas de alarma antiincendios.

Cableado eléctrico

Los cables eléctricos realizan todo su recorrido dentro de tubos de protección para protegerlos de los impactos y la corrosión. Las conducciones metálicas proporcionan, además, una conexión a tierra. En el caso de construcciones resistentes al fuego, pueden utilizarse tubos metálicos rígidos o flexibles. En edificios con estructura metálica, se utilizan cables con un revestimiento plástico. Los tubos o conductos de plástico se utilizan sobre todo en el caso de conducciones enterradas.

Por su tamaño relativamente reducido, los tubos pueden acomodarse fácilmente en la mayor parte de los sistemas constructivos. Deben estar adecuadamente fijados y de recorridos lo más directos posible. La normativa generalmente impone diámetros mínimos y un número máximo de codos en el recorrido entre encuentros y cajas de registro. El recorrido debe coordinarse con los sistemas mecánicos y de fontanería para evitar conflictos.

- Los cuadros controlan, distribuyen y protegen una serie de circuitos de derivación. En edificios grandes, están localizados en cuartos próximos a las acometidas de cada circuito. En viviendas y otras instalaciones pequeñas, el cuadro se combina con los interruptores generales para formar un único cuadro de mando y protección.
- Los interruptores interrumpen el suministro cuando hay un riesgo de sobrecarga que pueda dañar los aparatos o provocar un incendio.

- Las redes de baja tensión suministran corriente por debajo de los 50 V, generada por un transformador a partir de la línea de tensión normal. Estos circuitos se utilizan en viviendas para controlar sistemas domóticos como timbres, porteros automáticos, sistemas de climatización o controles remotos de iluminación. El cableado de baja tensión no requiere tubo de protección.
- Bandeja portacables en la dirección perpendicular a los pliegues de la chapa corrugada.
- El suelo técnico incluye piezas específicas para alojar cajas de registro.

- Forjado de hormigón aligerado

- Se utilizan interruptores de baja tensión cuando se desea contar con un punto central de control desde el cual manejar todos los controles. Los interruptores de baja tensión controlan los relés que interrumpen realmente la corriente eléctrica.

En los forjados de chapa colaborante de edificios de oficinas, a menudo se aprovechan los pliegues de la chapa para colocar conductos donde alojar cableado eléctrico, telefónico o de transmisión de datos. También existen sistemas de bandejas planas que se instalan directamente bajo las baldosas del pavimento.

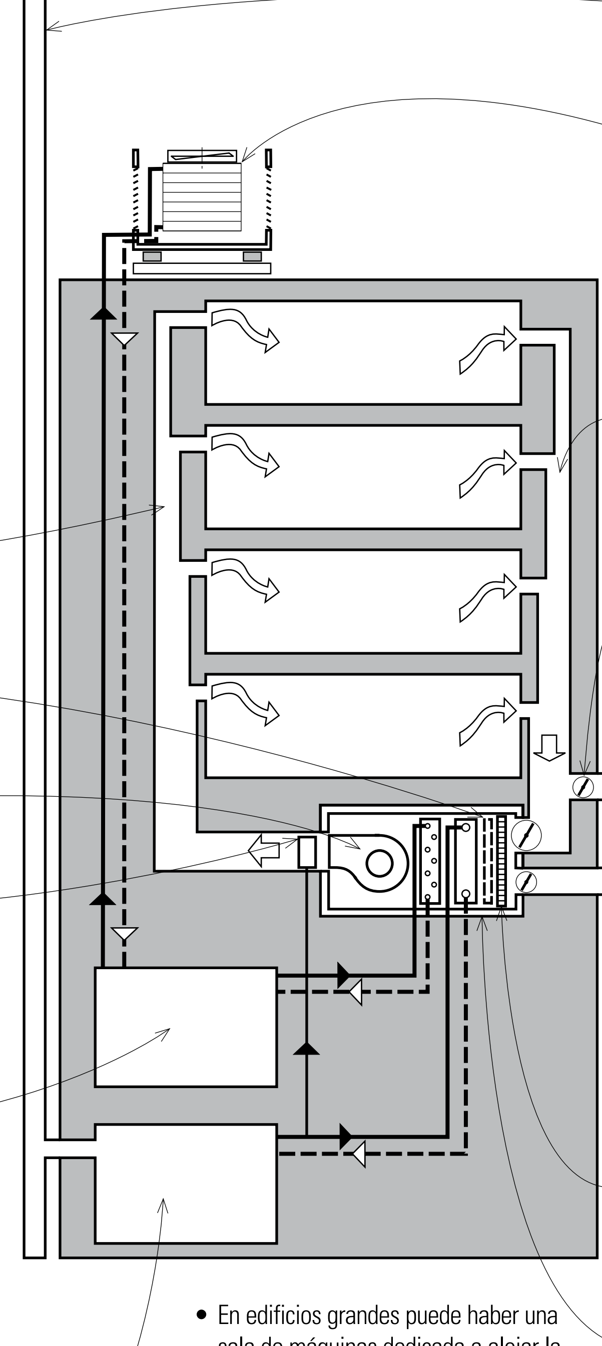
En el caso de instalaciones expuestas, existen diversas conducciones, conexiones y sistemas de fijación específicamente diseñados. Como en el caso de otras instalaciones mecánicas vistas, la disposición de cada elemento debería estar coordinada visualmente con los elementos físicos del espacio.

- Planchas de moqueta
- Bandejas planas con un grosor mínimo y capacidad de alojar uno, dos o tres circuitos de cableado.

Sistemas de climatización

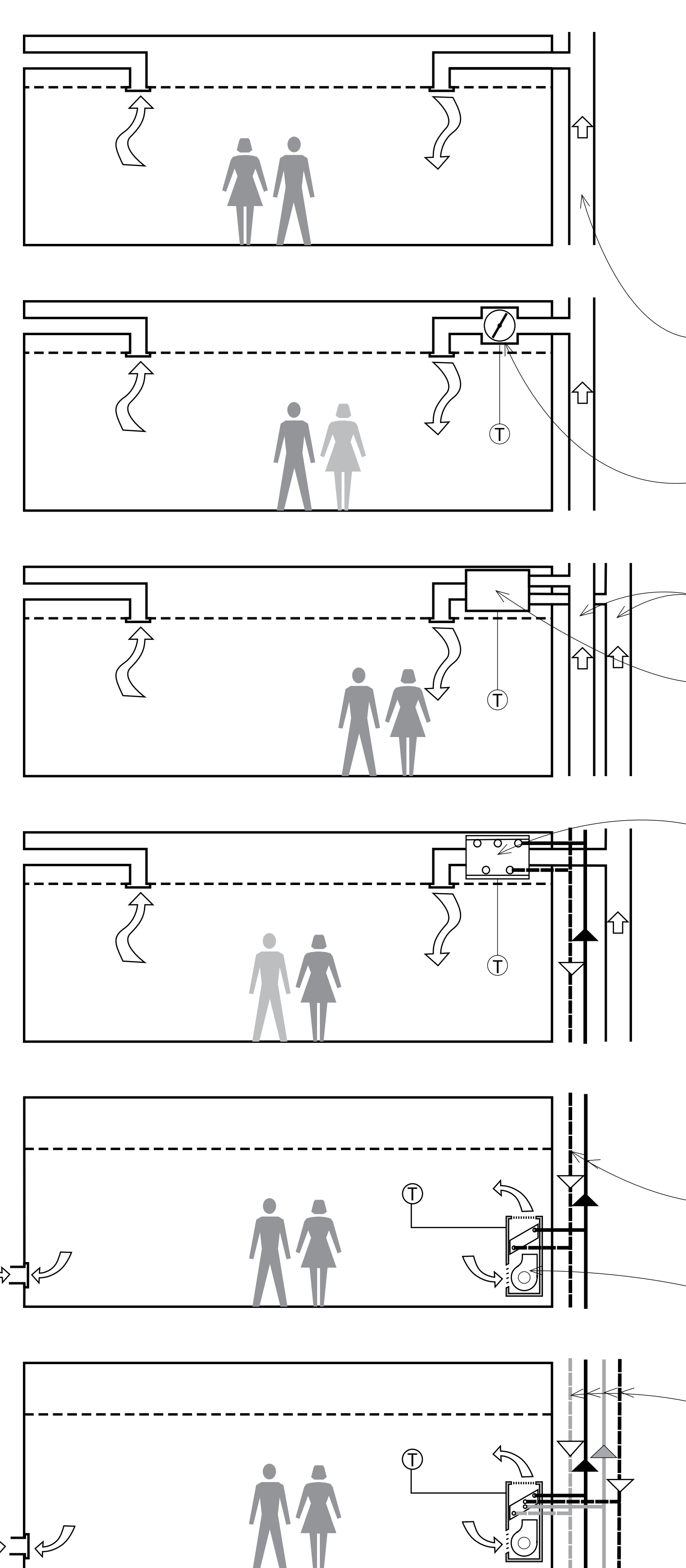
Los sistemas de climatización (calefacción, ventilación y aire acondicionado) controlan simultáneamente la temperatura, humedad, pureza, distribución y movimiento del aire en los espacios interiores de un edificio.

- La energía de calefacción y refrigeración puede distribuirse mediante aire, agua o una combinación de ambos.
- Los precalentadores calientan el aire frío del exterior como antesala de otros procesos.
- Los ventiladores proporcionan aire a una velocidad moderada para los pozos de ventilación forzada de los sistemas de climatización.
- Los humidificadores mantienen o aumentan la cantidad de vapor de agua en el aire suministrado.
- Un refrigerador de agua, eléctrico, de gas o gasóleo, proporciona agua fría al equipo de ventilación para refrigerar el aire, al tiempo que bombea vapor de agua a la torre de refrigeración para la cesión de calor.
- Un calentador de agua proporciona agua caliente o vapor de agua para su uso en calefacción. Los calentadores requieren combustible (gas o gasóleo) y un suministro de aire para la combustión. Los calentadores de gasóleo también necesitan un depósito de almacenamiento. Los calentadores eléctricos, viables si los costes de la electricidad son bajos, eliminan la necesidad de aire para la combustión y de chimenea para la evacuación de humos. No es necesario un calentador si puede obtenerse suministro de agua caliente o vapor procedente de una planta central de calefacción.



- Es necesaria una chimenea para evacuar los humos de la combustión en caso de utilizar un calentador a gas o gasóleo.
- Una torre de refrigeración, generalmente colocada en la cubierta del edificio, permite extraer calor del agua utilizada en la refrigeración. Deberían estar aislados acústicamente del entramado estructural del edificio.
- El aire de retorno se dirige desde la estancia climatizada de vuelta hacia la planta central para su procesado y recirculación.
- Distintas válvulas regulan la circulación de aire en los conductos de ventilación, así como las entradas y las salidas.
- Aire viciado
- Aire fresco. Normalmente el 20 % del aire de ventilación debería ser aire fresco procedente del exterior. La normativa especifica la ventilación requerida para los distintos usos y grados de ocupación en renovaciones por hora o en metros cúbicos por minuto y persona.
- Los filtros eliminan las impurezas suspendidas en el aire suministrado.
- Las unidades de ventilación contienen los ventiladores, los filtros y el resto de componentes necesarios para tratar y distribuir el aire acondicionado.

- En edificios grandes puede haber una sala de máquinas dedicada a alojar la maquinaria del sistema de climatización. En caso de que haya una sola sala, debería situarse de modo que se reduzca al mínimo la distancia que debe recorrer el aire acondicionado hasta llegar a la estancia climatizada más alejada. También se pueden disponer varias salas de máquinas encargadas de climatizar distintas zonas del edificio, o situar una en cada planta, para minimizar los conductos verticales.



Sistemas todo aire de climatización

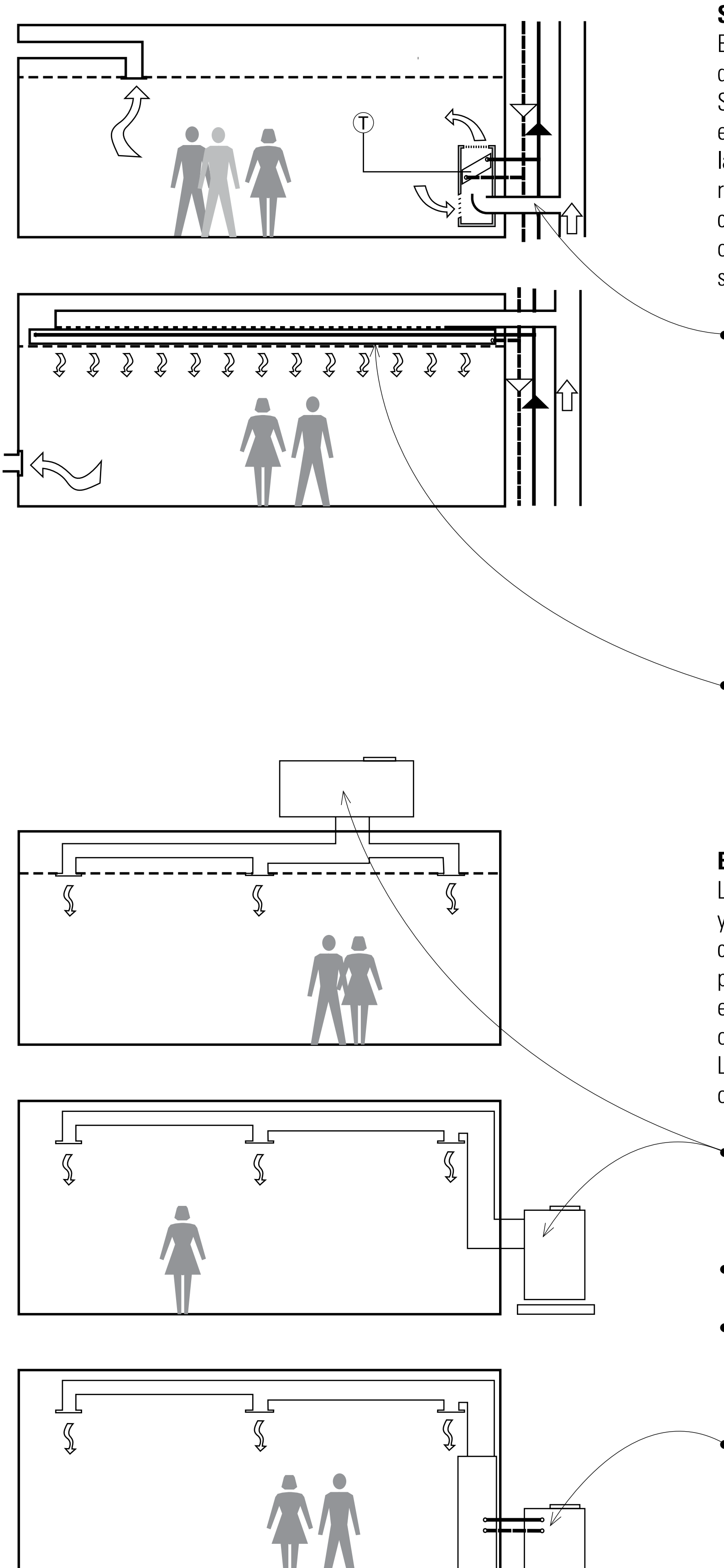
La planta de tratamiento y refrigeración de aire en los sistemas todo aire puede situarse en una localización central, a cierta distancia de los espacios climatizados. Solo el medio final de calefacción-refrigeración (el aire) se lleva hasta los espacios climatizados a través de conductos y se distribuye dentro del espacio a través de salidas o terminales de mezclado. Los sistemas todo aire no solo proporcionan calor y frío, sino que también limpian el aire y controlan la humedad. El aire vuelve a la unidad central y es mezclado con aire del exterior para ventilar.

- Los sistemas multizonales proporcionan una única corriente de aire a cada espacio o zona a través de conductos con rejillas a una velocidad normal. El aire frío y caliente es premezclado de manera centralizada utilizando válvulas controladas por termostatos de sala.
- Los sistemas de volumen de aire variable utilizan válvulas en las salidas terminales para controlar el flujo de aire acondicionado en función de los requisitos de temperatura de cada zona o espacio.
- Los sistemas de doble conducto utilizan conductos separados para aire caliente y aire frío a unas cajas de mezcla que contienen válvulas termostáticas.
- Las cajas de mezcla combinan la proporción necesaria de aire caliente y frío antes de distribuirlo en cada zona o espacio. Este sistema suele mover el aire a altas velocidades (730 m/min o más) para reducir el tamaño de los conductos y el espacio requerido para la instalación.
- Los sistemas de recalentamiento en terminal ofrecen mayor flexibilidad para responder a los cambios en las necesidades. Proporciona aire a unos 13 °C a unas terminales equipadas con serpentines eléctricos o de agua caliente, que regulan la temperatura del aire que se suministra a cada zona o espacio.

Sistemas todo agua de climatización

Los sistemas todo agua proporcionan agua caliente o fría desde una localización central a unidades de ventiloconvección situadas en los espacios climatizados, a través de tuberías que requieren menos espacio que las conducciones de aire.

- El sistema de doble tubería utiliza una tubería para suministrar agua caliente o fría a cada ventiloconvector, y otra para el retorno del agua a la planta central.
- Las unidades ventiloconvectoras contienen un filtro de aire y un ventilador centrífugo para hacer pasar una mezcla de aire de la estancia y del exterior a través de un serpentín con el agua caliente o fría para devolverlo a continuación a la sala.
- Un sistema de cuatro tuberías utiliza dos circuitos separados de tuberías —uno para agua caliente y el otro para agua fría—, para proporcionar calefacción y refrigeración simultáneamente según sean las necesidades de las distintas zonas del edificio.
- La ventilación se consigue a través de aberturas en los muros, por infiltración, o por unidades independientes de ventilación.



Sistemas aire-agua de climatización

En los sistemas aire-agua, el tratamiento y la refrigeración del aire pueden estar separados de los espacios servidos. Sin embargo, la temperatura del aire suministrado a los espacios climatizados se equilibra básicamente mediante la circulación de agua caliente o fría a través de unos radiadores o paneles de inducción situados en los espacios climatizados. El aire puede devolverse a la unidad central o simplemente evacuarse. Los tipos más comunes de sistemas aire-agua son los siguientes:

- Los sistemas de inducción utilizan conductos de alta velocidad para proporcionar el aire acondicionado primario desde una planta central a cada zona o espacio, donde se mezcla con el aire de la estancia y es posteriormente calentado o enfriado más mediante las unidades de inducción. El aire primario se mezcla con el aire de la sala a través de un filtro, y luego la mezcla se calienta o enfría por un sistema secundario de tuberías de agua calentada o enfriada en una planta de calefacción o refrigeración. Los termostatos locales controlan el flujo de agua en los serpentines para regular la temperatura del aire.
- Los sistemas de paneles radiantes proporcionan calefacción o refrigeración mediante paneles radiantes situados en las paredes o el techo, en tanto que un suministro constante de aire proporciona la renovación y el control de la humedad del mismo.

Equipos unitarios de climatización

Los equipos unitarios son unidades autocontenidas y estancas que incorporan ventilador, filtros, compresor, condensador y serpentines de evaporación para proporcionar refrigeración. Para la calefacción, el aparato puede operar como una bomba de calor o contar con elementos auxiliares de calefacción. Los equipos compactos se alimentan con electricidad o una combinación de gas y electricidad.

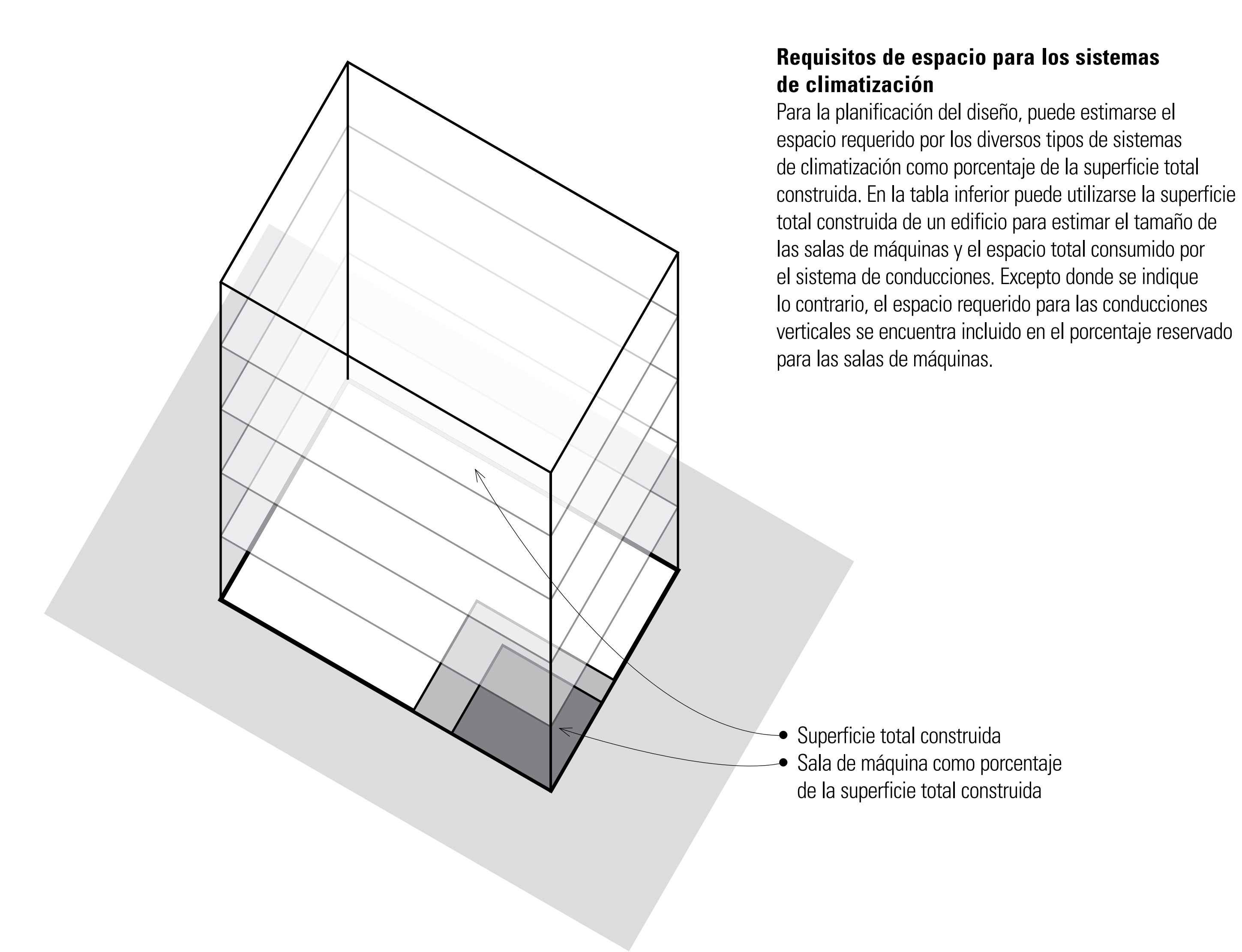
- Los equipos unitarios pueden montarse como piezas independientes en la cubierta o en la fachada, con el correspondiente soporte.

- Las unidades de cubierta pueden situarse a intervalos para dar servicio a edificios de gran longitud.
- Los equipos unitarios con conductos verticales que conecten las derivaciones horizontales pueden dar servicio a edificios de hasta 4 o 5 plantas de altura.

- Los equipos partidos están constituidos por dos componentes, una unidad exterior que incorpora el compresor y el condensador, y una unidad interior que contiene los serpentines de calefacción y refrigeración y el ventilador. Una canalización refrigerante aislada y un cable de control conectan los dos componentes.

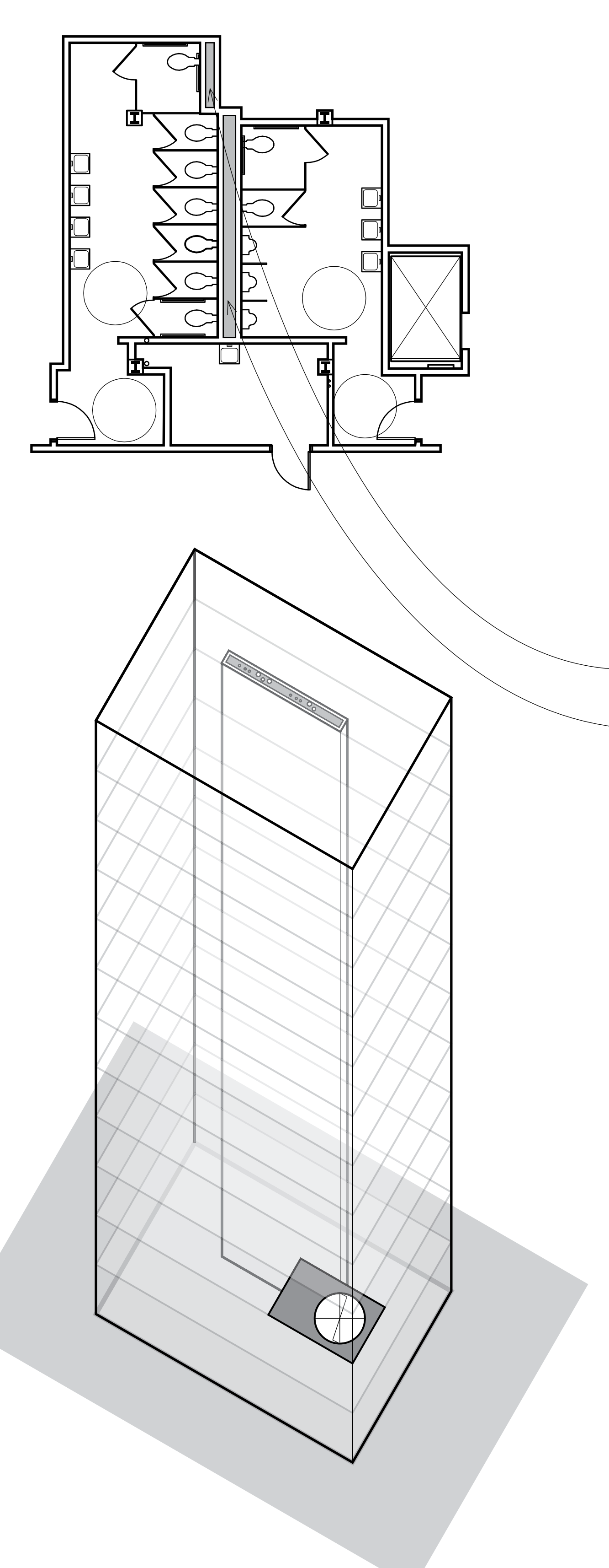
Requisitos de espacio para los sistemas de climatización

Para la planificación del diseño, puede estimarse el espacio requerido por los diversos tipos de sistemas de climatización como porcentaje de la superficie total construida. En la tabla inferior puede utilizarse la superficie total construida de un edificio para estimar el tamaño de las salas de máquinas y el espacio total consumido por el sistema de conducciones. Excepto donde se indique lo contrario, el espacio requerido para las conducciones verticales se encuentra incluido en el porcentaje reservado para las salas de máquinas.



Sistema de climatización	Salas de máquinas		Distribución de conductos	
	Ventilación % *	Refrigeración % *	Montantes verticales *	Conductos horizontales *
Convencional: baja velocidad	2,2-3,5	0,2-1		0,7-0,9
Convencional: alta velocidad	2-3,3	0,2-1		0,4-0,5
Terminal de recalentamiento: agua caliente	2-3,3	0,2-1		0,4-0,5
Terminal de recalentamiento: eléctrica	2-3,3	0,2-1		0,4-0,5
Volumen variable de aire		0,2-1		0,1-0,2
Multizonal		0,2-1		0,7-0,9
Conducto doble	2,2-3,5	0,2-1		0,6-0,8
Inducción todo-aire	2-3,3	0,2-1		0,4-0,5
Inducción aire-agua: dos tuberías	0,5-1,5	0,2-1	0,25-0,35	
Inducción aire-agua: cuatro tuberías	0,5-1,5	0,2-1	0,3-0,4	
Unidades de ventiloconducción: dos tuberías	–	0,2-1	–	–
Unidades de ventiloconducción: cuatro tuberías	–	0,2-1	–	–

• Porcentaje de superficie construida



Tabiques técnicos de fontanería y saneamiento
Las redes de fontanería y de saneamiento necesitan una reserva de espacio para sus recorridos por todo el edificio. Estas redes están asociadas de forma casi invariable a cuartos de baño, cocinas y laboratorios. Se pueden evitar los potenciales conflictos entre la estructura del edificio y las líneas de estas redes restringiendo la circulación de la tubería a espacios técnicos verticales.

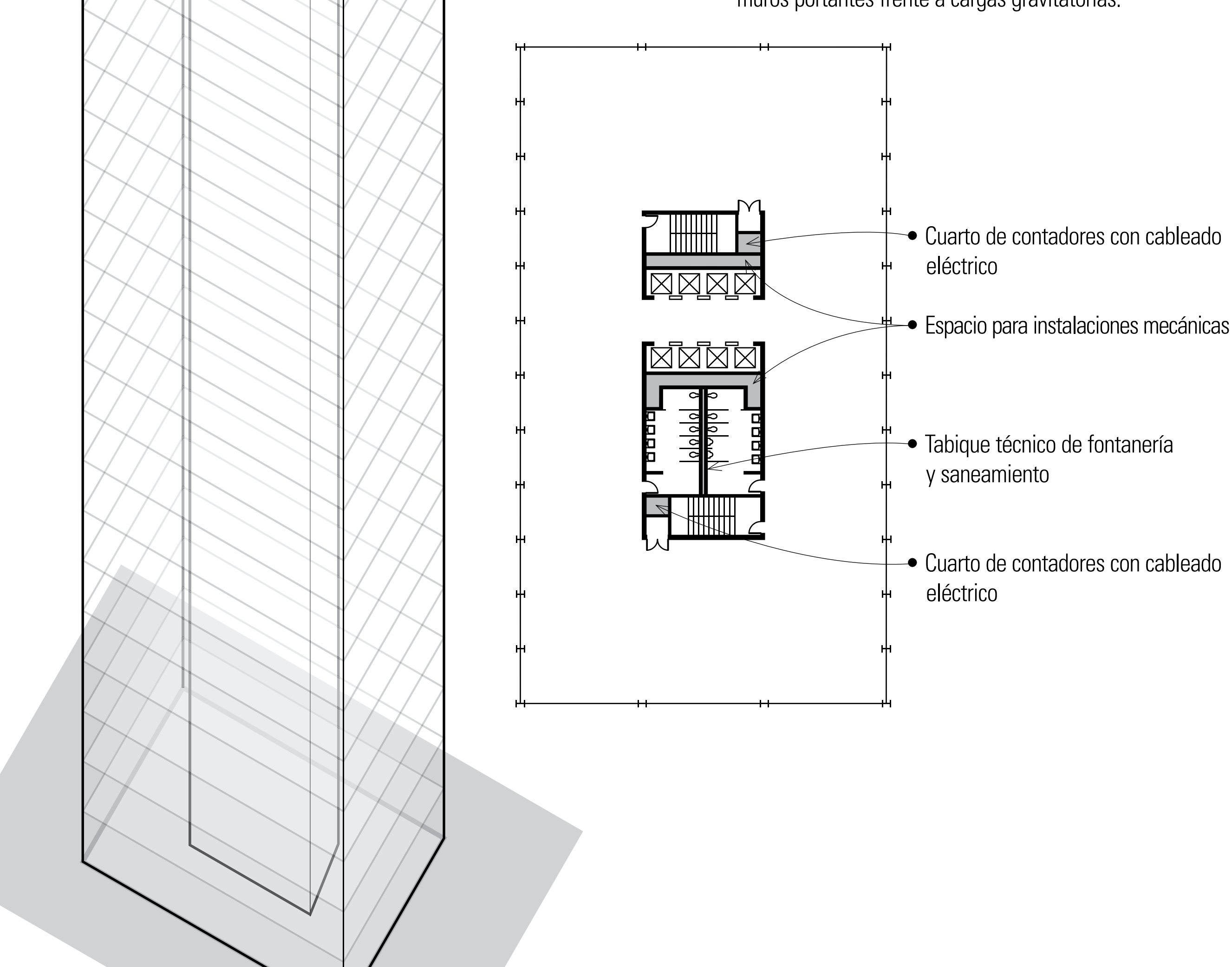
- Por razones de economía y accesibilidad, resulta recomendable disponer las bajantes en una cámara vertical que atraviese todas las plantas de un edificio en altura.
- La superposición de todas las estancias que requieren fontanería y saneamiento, con los aparatos conectados a un tabique técnico compartido, permite disponer de espacio para las bajantes y las derivaciones, que a menudo se cruzan en horizontal con las primeras.
- Los tabiques técnicos facilitan el acceso para el mantenimiento.
- Los tabiques técnicos donde conectan los aparatos deberían tener el grosor suficiente para alojar derivaciones, desagües y sifones de los aparatos, así como cámaras de aire.
- Grosor mínimo de un tabique técnico con conexiones en una sola cara: 30 cm.
- Grosor mínimo de un tabique técnico con conexiones en ambas caras: 45 cm.
- Las derivaciones horizontales de saneamiento y recogida de pluviales deben contar con una pendiente mínima que garantice la evacuación, por lo cual debe dárseles prioridad a la hora de planificar los espacios técnicos horizontales.

Aunque el uso de tabiques técnicos para fontanería no es tan crítico en edificios de poca altura, son eficientes para organizar y distribuir los sistemas de fontanería y saneamiento en ciertos edificios (edificios en altura, hoteles, hospitales o residencias).

Salas de máquinas de ventilación
Aunque resulta más eficiente situar una sala de máquinas en una posición central en el edificio, para reducir la longitud de los conductos, puede estar ubicada en cualquier parte, siempre que cuente con una entrada de aire y una salida de humos, y tenga sitio para las canalizaciones verticales que deben alojar los conductos de suministro y de retorno.

- En edificios grandes puede resultar económico utilizar varias salas de máquinas para servir a distintas zonas.
- Los ventiladores tienen una capacidad máxima para elevar o hacer descender el aire entre las plantas 10 y 15. En edificios de mayor altura son necesarias varias salas de máquinas, cada 20 o 30 plantas aproximadamente. Algunos edificios en altura no necesitan de conductos verticales ya que incorporan una sala de máquinas en cada planta.

Núcleos
En edificios de dos o tres plantas de altura, los espacios técnicos verticales para las instalaciones se sitúan en cualquier hueco disponible dentro de la planta, y cumplen su cometido sin mayor problema. Sin embargo, si esto se hace sin una planificación adecuada, puede dar lugar a una gran dispersión de las distintas redes de conductos, tuberías y cableados a lo largo de la estructura, dificultando el acceso para el mantenimiento o las reparaciones, y reduciendo la eficiencia de los sistemas. En edificios grandes y en altura, los espacios técnicos suelen agruparse en huecos verticales que incorporan escaleras, ascensores, montantes y bajantes. El resultado es la aparición de manera natural de uno o varios núcleos que se extienden verticalmente a lo largo de todo el edificio. Puesto que estos núcleos tienen continuidad a lo largo de una serie de plantas —y requieren un mayor grado de protección frente a incendios—, también pueden asumir funciones estructurales y servir como muros rigidizadores frente a cargas laterales o como muros portantes frente a cargas gravitatorias.

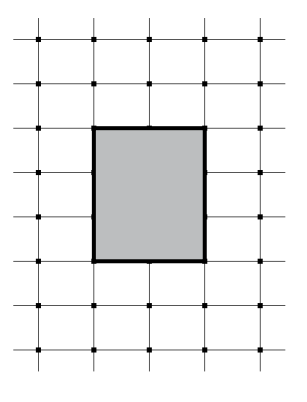
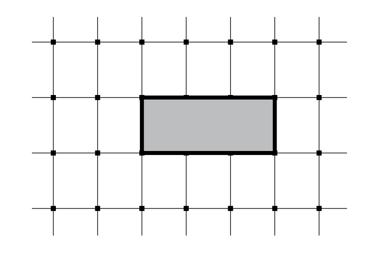
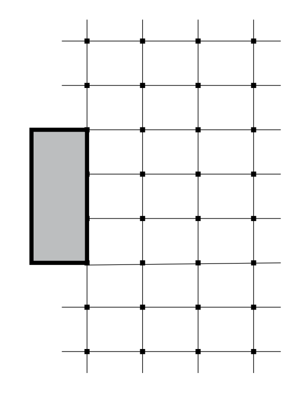
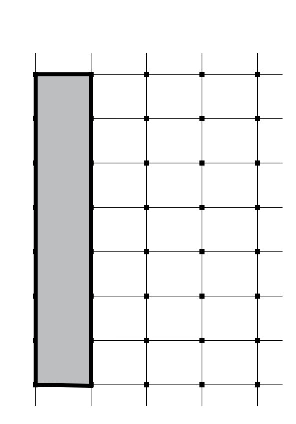


Localización del núcleo
El núcleo o los núcleos de servicio de un edificio alojan la distribución vertical de las instalaciones mecánicas y eléctricas, los huecos de los ascensores y las escaleras de evacuación. Estos núcleos deben coordinarse con la distribución estructural de pilares, muros de carga y muros rigidizadores o elementos de arriostramiento, sin olvidar la distribución de los espacios, usos y actividades.

El tipo y la configuración del edificio influirán en la localización de los núcleos verticales.

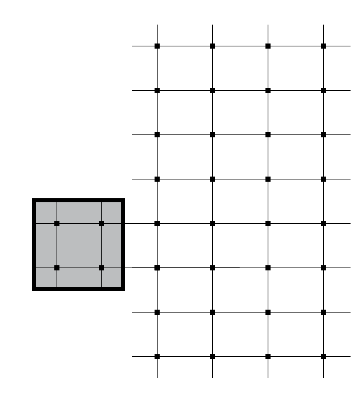
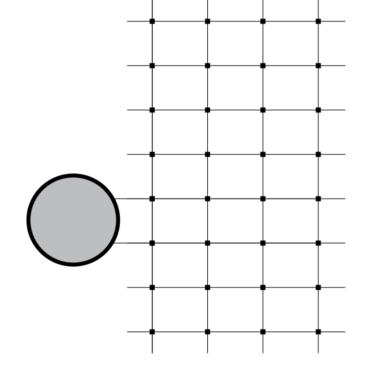
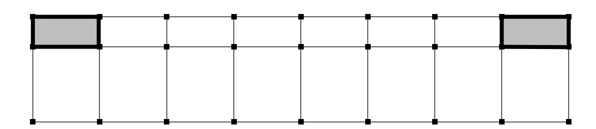
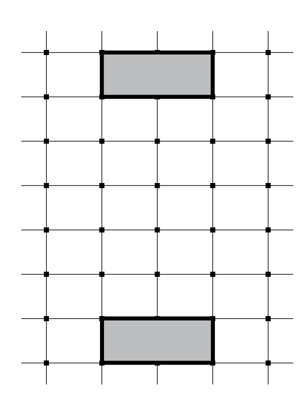
- En los edificios de oficinas en altura suele recurrirse a un único núcleo para dejar al máximo espacio diáfano comercializable.
- Las localizaciones centrales son ideales para obtener derivaciones horizontales de menor longitud y una distribución más eficiente.

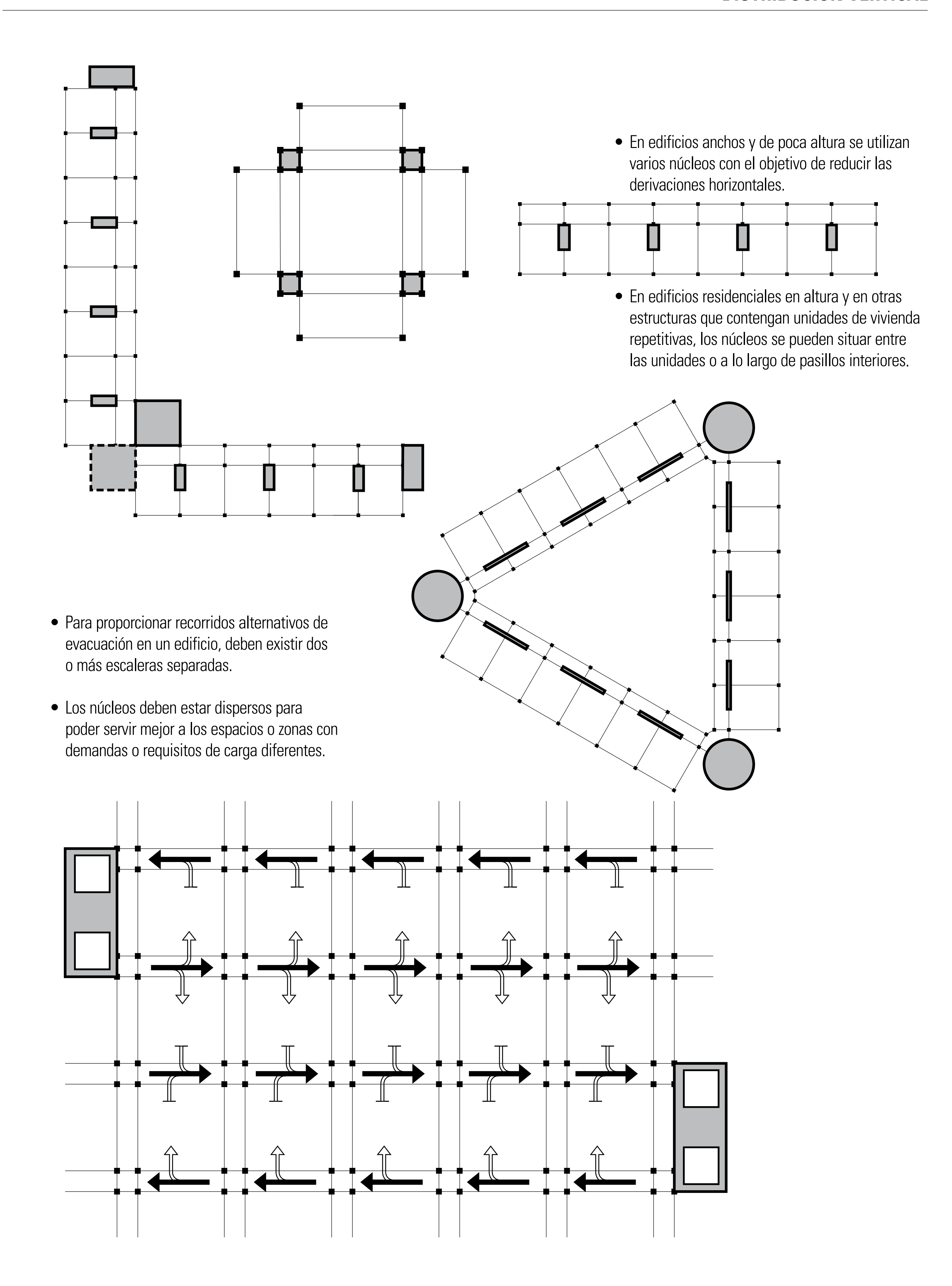
- La situación del núcleo a lo largo de un borde deja una mayor proporción de espacio libre en planta, pero bloquea la entrada de luz en una parte de la fachada.

- Los núcleos exentos dejan libre la máxima cantidad de espacio en planta, pero requieren derivaciones horizontales más largas y no contribuyen al arriostramiento lateral del edificio.

- Para reducir la longitud de las derivaciones y servir de manera eficaz como arriostramiento lateral pueden disponerse dos núcleos simétricos, pero la superficie en planta restante pierde cierta flexibilidad de distribución y uso.



- En edificios anchos y de poca altura se utilizan varios núcleos con el objetivo de reducir las derivaciones horizontales.

- En edificios residenciales en altura y en otras estructuras que contengan unidades de vivienda repetitivas, los núcleos se pueden situar entre las unidades o a lo largo de pasillos interiores.

- Para proporcionar recorridos alternativos de evacuación en un edificio, deben existir dos o más escaleras separadas.

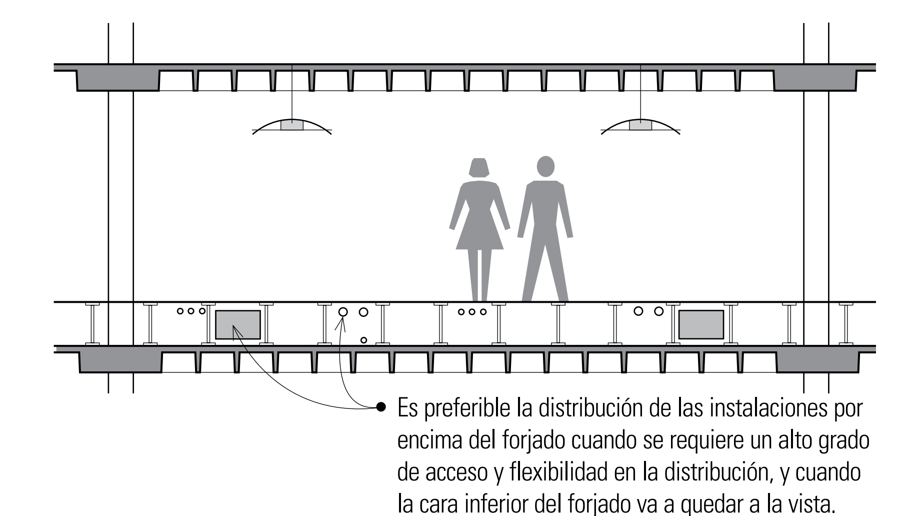
- Los núcleos deben estar dispersos para poder servir mejor a los espacios o zonas con demandas o requisitos de carga diferentes.

Distribución horizontal de instalaciones
Las instalaciones se distribuyen a partir y hacia huecos y espacios técnicos verticales, a través de espacios horizontales situados entre los planos del techo y del suelo, dentro del canto total de cada forjado. La manera como se relacionan dichas instalaciones con el canto de los elementos portantes horizontales determina la dimensión vertical total del forjado, que a su vez tiene un efecto significativo sobre la altura total del edificio.

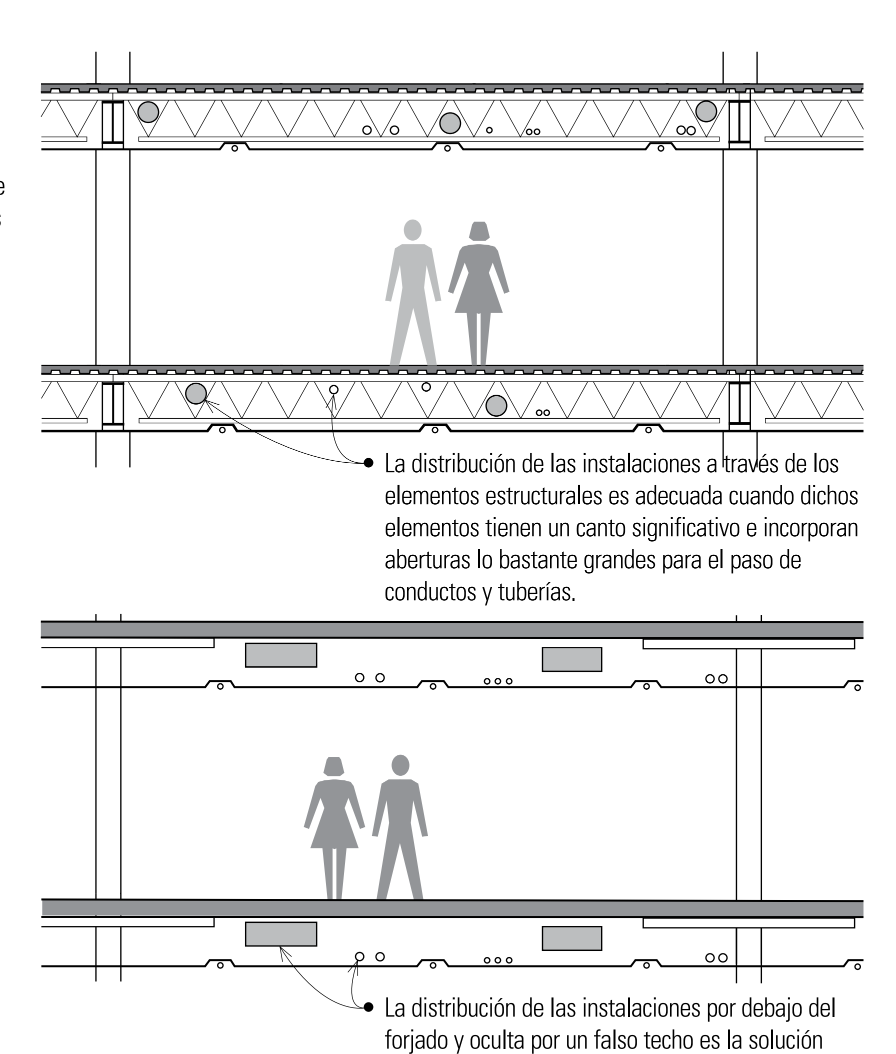
Hay tres formas fundamentales de distribuir las redes horizontales, o derivaciones, de las instalaciones mecánicas:

- Por encima del elemento portante horizontal
- A través del elemento portante horizontal
- Por debajo del elemento portante horizontal

El cableado y las tuberías de suministro de agua requieren poco espacio y pueden disponerse directamente en pequeñas bandejas o en cavidades de suelos y techos. La distribución de aire, sin embargo, requiere conductos de suministro y de retorno de un tamaño significativo. Esto es especialmente cierto en el caso de sistemas en los cuales es importante un nivel de ruido bajo, o donde un pequeño diferencial entre la temperatura deseada y la del aire suministrado requiere un gran volumen de movimiento de aire. Por todo ello, los sistemas de climatización plantean el mayor potencial de conflicto tanto con los elementos horizontales como con los elementos verticales de la estructura del edificio.



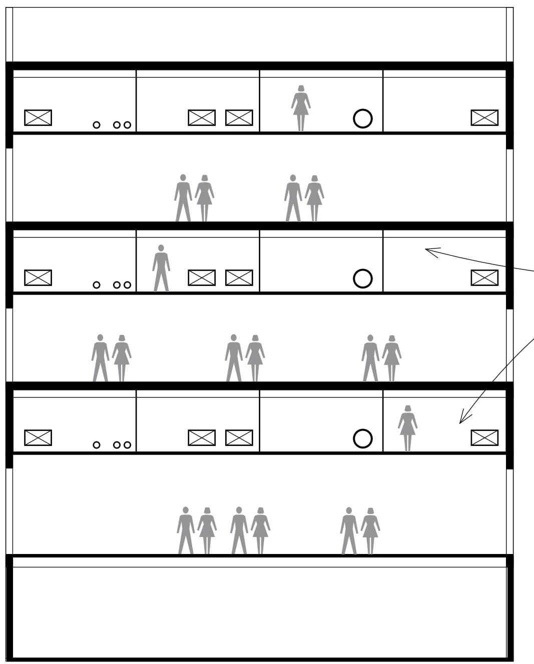
- Es preferible la distribución de las instalaciones por encima del forjado cuando se requiere un alto grado de acceso y flexibilidad en la distribución, y cuando la cara inferior del forjado va a quedar a la vista.



- La distribución de las instalaciones a través de los elementos estructurales es adecuada cuando dichos elementos tienen un canto significativo e incorporan aberturas lo bastante grandes para el paso de conductos y tuberías.

- La distribución de las instalaciones por debajo del forjado y oculta por un falso techo es la solución más común. Para minimizar el canto del conjunto forjado-techo, estos sistemas de distribución de las instalaciones deberían utilizarse con forjados de poco grosor, como es el caso de las losas planas.

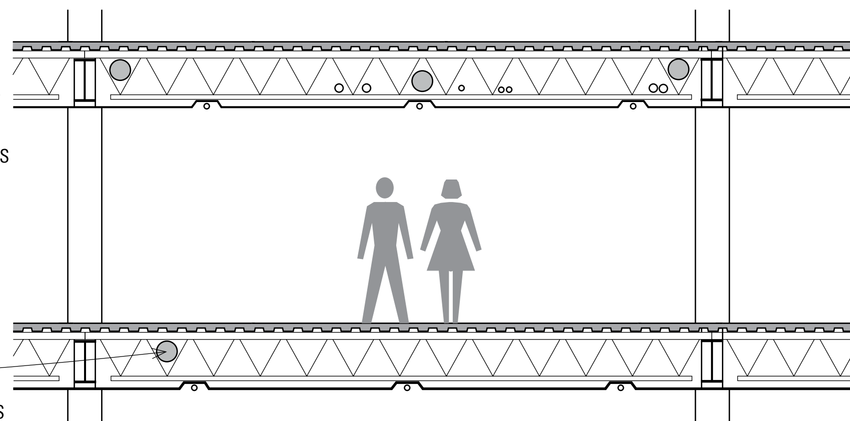
Disponer las líneas distribuidoras y los conductos de mayores dimensiones en pasillos y otros espacios que pueden tolerar techos más bajos, ayuda a minimizar los conflictos entre el sistema estructural y la distribución horizontal de los conductos de aire de los sistemas de climatización.



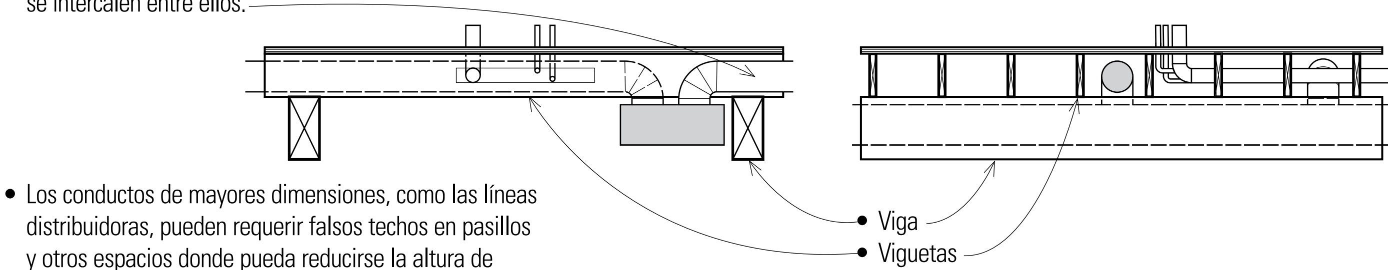
La utilización de plénums de mayores dimensiones, con una altura libre que permita el paso de una persona erguida, puede facilitar el acceso a las instalaciones sin perturbar los espacios servidos, lo cual puede ser de utilidad en hospitales, laboratorios y otros edificios con instalaciones complejas o que requieren mantenimiento y modificaciones de forma permanente.

Distribución horizontal de instalaciones a través de la estructura

La distribución horizontal de las instalaciones a través de los elementos de la estructura es posible por la existencia de aberturas inherentes a ciertos tipos de elementos portantes: cerchas de acero y madera, viguetas de alma abierta, piezas prefabricadas de hormigón con cavidades interiores, forjados de chapa colaborante o vigas compuestas de madera.



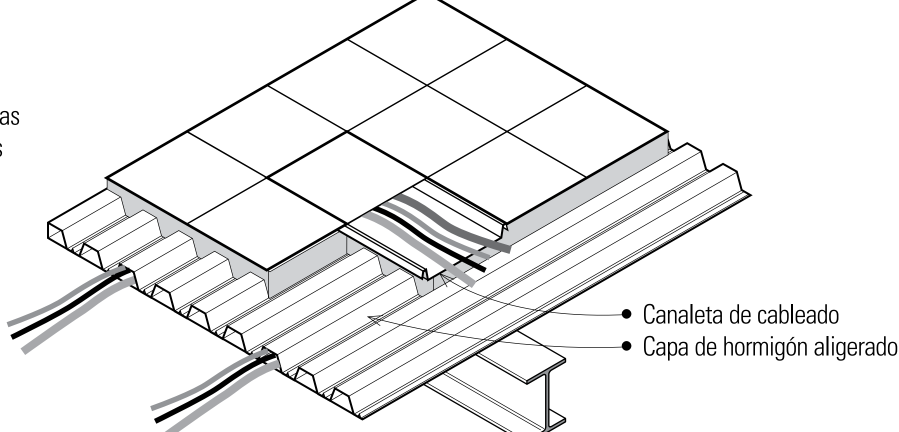
- Los conductos horizontales dentro del canto de un elemento portante horizontal tienen restringidas sus dimensiones. Por ejemplo, el diámetro máximo que pase entre las diagonales de una vigueta de alma abierta será de la mitad del canto.
- La colocación de los conductos de aire a través de vigas de celosía o viguetas de alma abierta reduce la flexibilidad de adaptar la instalación a futuras demandas.
- Las jácenas de acero o madera pueden apoyarse en distintos planos para permitir que las instalaciones se intercalen entre ellos.

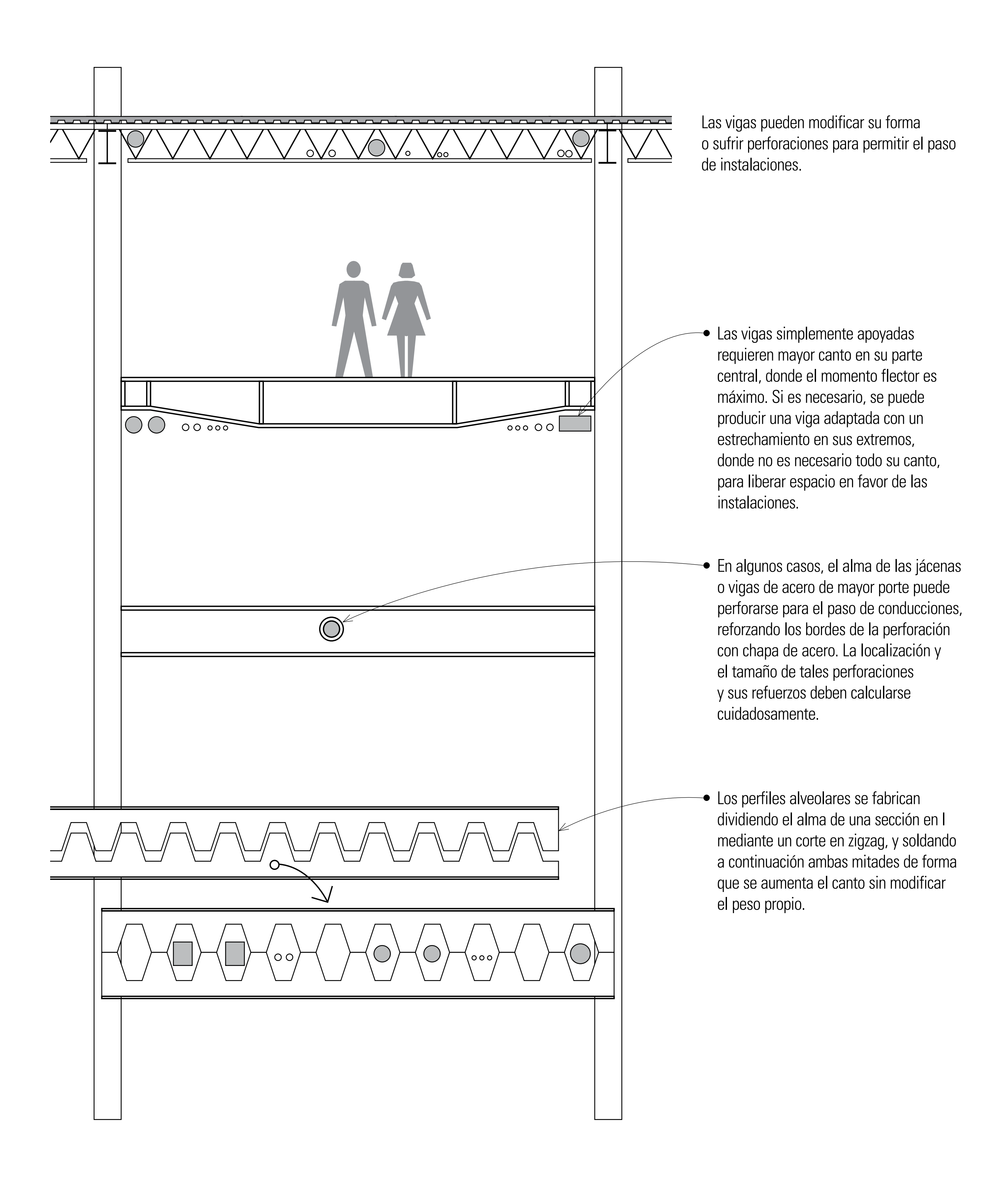


- Los conductos de mayores dimensiones, como las líneas distribuidoras, pueden requerir falsos techos en pasillos y otros espacios donde pueda reducirse la altura de techos.
- Nótese que en ocasiones resulta difícil colocar los elementos rígidos de las instalaciones a través de las aberturas disponibles en los elementos estructurales si se sigue la secuencia normal de la obra.

Se han desarrollado diversas soluciones constructivas especialmente diseñadas para alojar e integrar ciertas instalaciones en el sistema estructural.

- Se pueden incorporar canaletas de cableado a las capas de compresión de los forjados. En algunos casos estas canaletas pueden implicar una reducción efectiva del canto estructural del forjado
- Algunos forjados de chapa colaborante permiten aprovechar los pliegues de la cara inferior como canaletas para el cableado eléctrico.





Las vigas pueden modificar su forma o sufrir perforaciones para permitir el paso de instalaciones.

- Las vigas simplemente apoyadas requieren mayor canto en su parte central, donde el momento flector es máximo. Si es necesario, se puede producir una viga adaptada con un estrechamiento en sus extremos, donde no es necesario todo su canto, para liberar espacio en favor de las instalaciones.

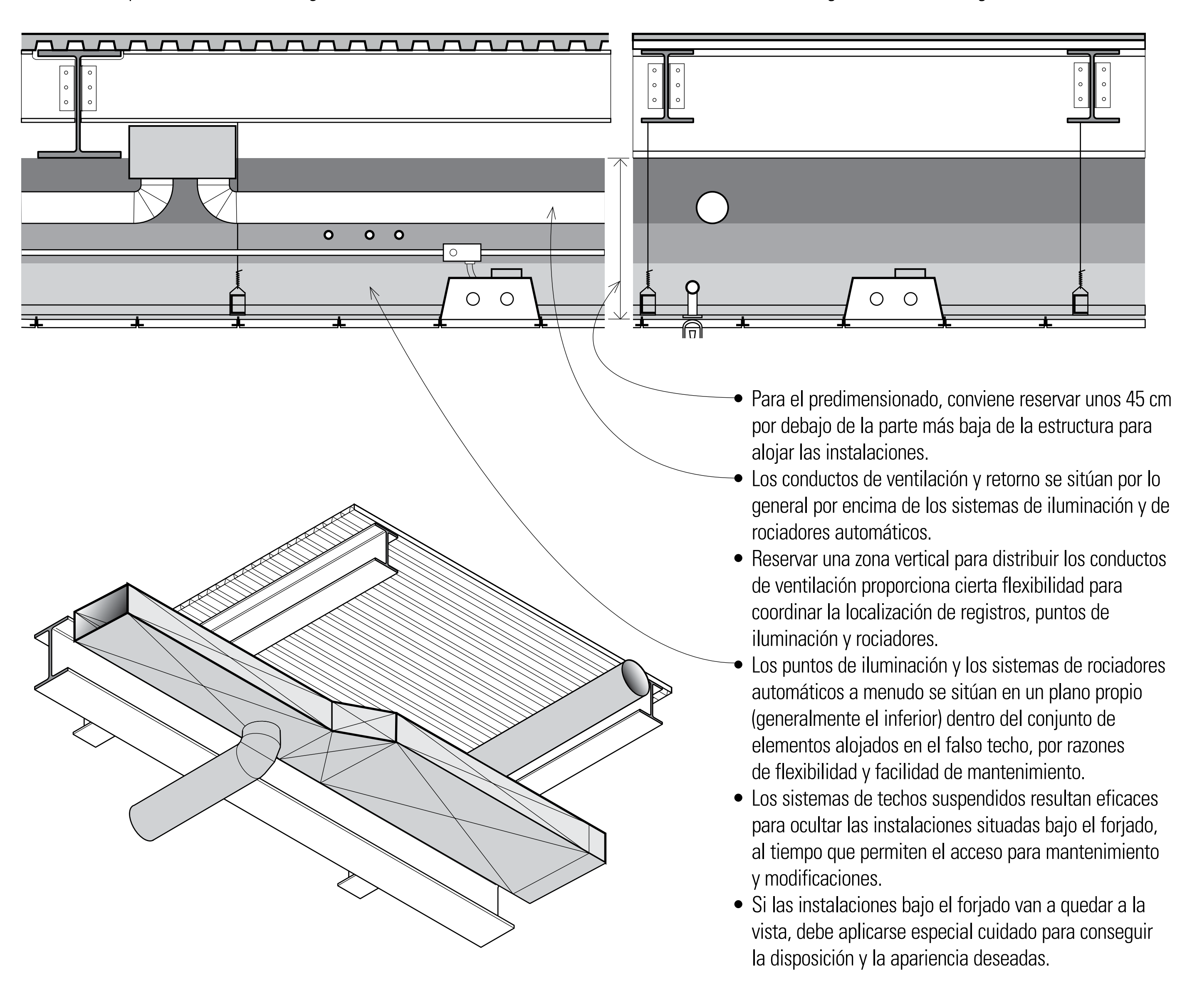
- En algunos casos, el alma de las jácenas o vigas de acero de mayor porte puede perforarse para el paso de conducciones, reforzando los bordes de la perforación con chapa de acero. La localización y el tamaño de tales perforaciones y sus refuerzos deben calcularse cuidadosamente.

- Los perfiles alveolares se fabrican dividiendo el alma de una sección en I mediante un corte en zigzag, y soldando a continuación ambas mitades de forma que se aumenta el canto sin modificar el peso propio.

Distribución horizontal de instalaciones por debajo de la estructura

Cuando las instalaciones se colocan por debajo de la estructura del forjado, la capa horizontal inmediatamente por debajo de la estructura se reserva para los conductos de ventilación. Para aumentar la eficiencia, las líneas distribuidoras principales de ventilación deberían correr en paralelo a las jácenas o vigas maestras. Si es necesario, pueden colocarse los conductos secundarios por encima, corriendo paralelas a las viguetas o vigas secundarias, para reducir el canto total del forjado. La capa inferior normalmente se reserva para los sistemas de iluminación y de rociadores automáticos, que se extienden a lo largo del falso techo.

- Los falsos techos, los componentes eléctricos, los conductos, los registros y todos los elementos suspendidos deben estar convenientemente arriostrados para hacer frente a las cargas laterales y a los empujes hacia arriba que pueden sufrir durante un terremoto, y que puede dislocar aquellos sistemas no arriostrados contra cargas distintas de las gravitatorias.

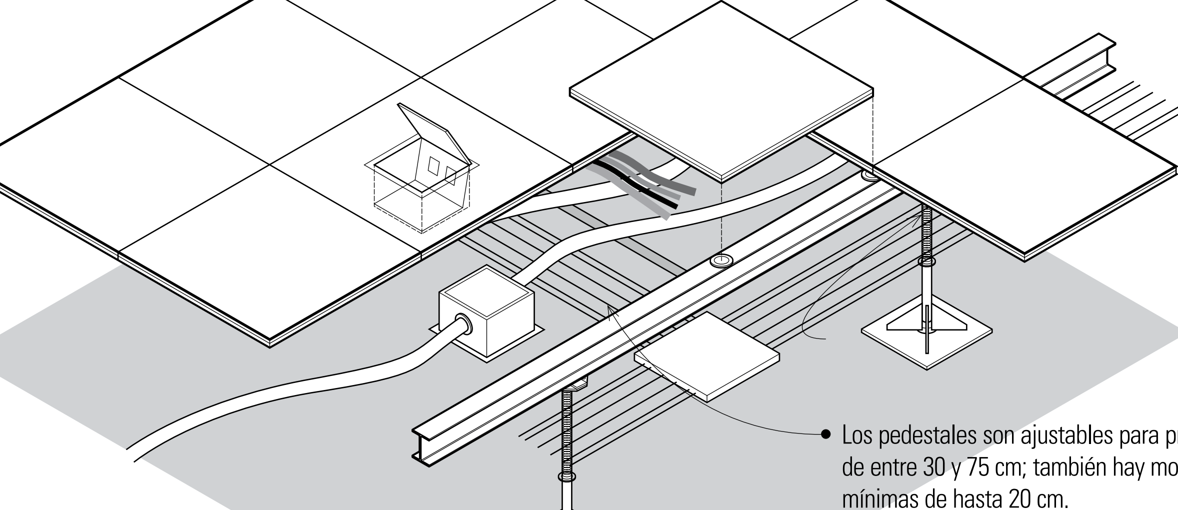


- Para el predimensionado, conviene reservar unos 45 cm por debajo de la parte más baja de la estructura para alojar las instalaciones.
- Los conductos de ventilación y retorno se sitúan por lo general por encima de los sistemas de iluminación y de rociadores automáticos.
- Reservar una zona vertical para distribuir los conductos de ventilación proporciona cierta flexibilidad para coordinar la localización de registros, puntos de iluminación y rociadores.
- Los puntos de iluminación y los sistemas de rociadores automáticos a menudo se sitúan en un plano propio (generalmente el inferior) dentro del conjunto de elementos alojados en el falso techo, por razones de flexibilidad y facilidad de mantenimiento.
- Los sistemas de techos suspendidos resultan eficaces para ocultar las instalaciones situadas bajo el forjado, al tiempo que permiten el acceso para mantenimiento y modificaciones.
- Si las instalaciones bajo el forjado van a quedar a la vista, debe aplicarse especial cuidado para conseguir la disposición y la apariencia deseadas.

Distribución horizontal de instalaciones por encima de la estructura

Normalmente se utilizan los sistemas de suelos técnicos en espacios de oficinas, hospitales, laboratorios, salas informáticas y centros de televisión y comunicaciones, para proporcionar accesibilidad y flexibilidad en la disposición de mesas, puestos de trabajo y equipos. Los equipos pueden moverse libremente y conectarse en cualquier punto con sistemas modulares de cableado. También resulta una solución adecuada cuando la cara inferior del forjado, como en el caso de una losa alveolar, quiere dejarse a la vista.

- Los suelos técnicos constan de paneles practicables e intercambiables, apoyados sobre pedestales de altura ajustable que permiten el libre acceso al espacio inferior. Los paneles del suelo suelen ser cuadrados, de 60 cm de lado, de acero, aluminio, tablero de madera revestido de acero o aluminio, o de hormigón armado aligerado. Los paneles pueden tener acabados de moqueta, vinilo o laminado a alta presión; también existen acabados especiales con resistencia frente al fuego o con control de la corriente electrostática.

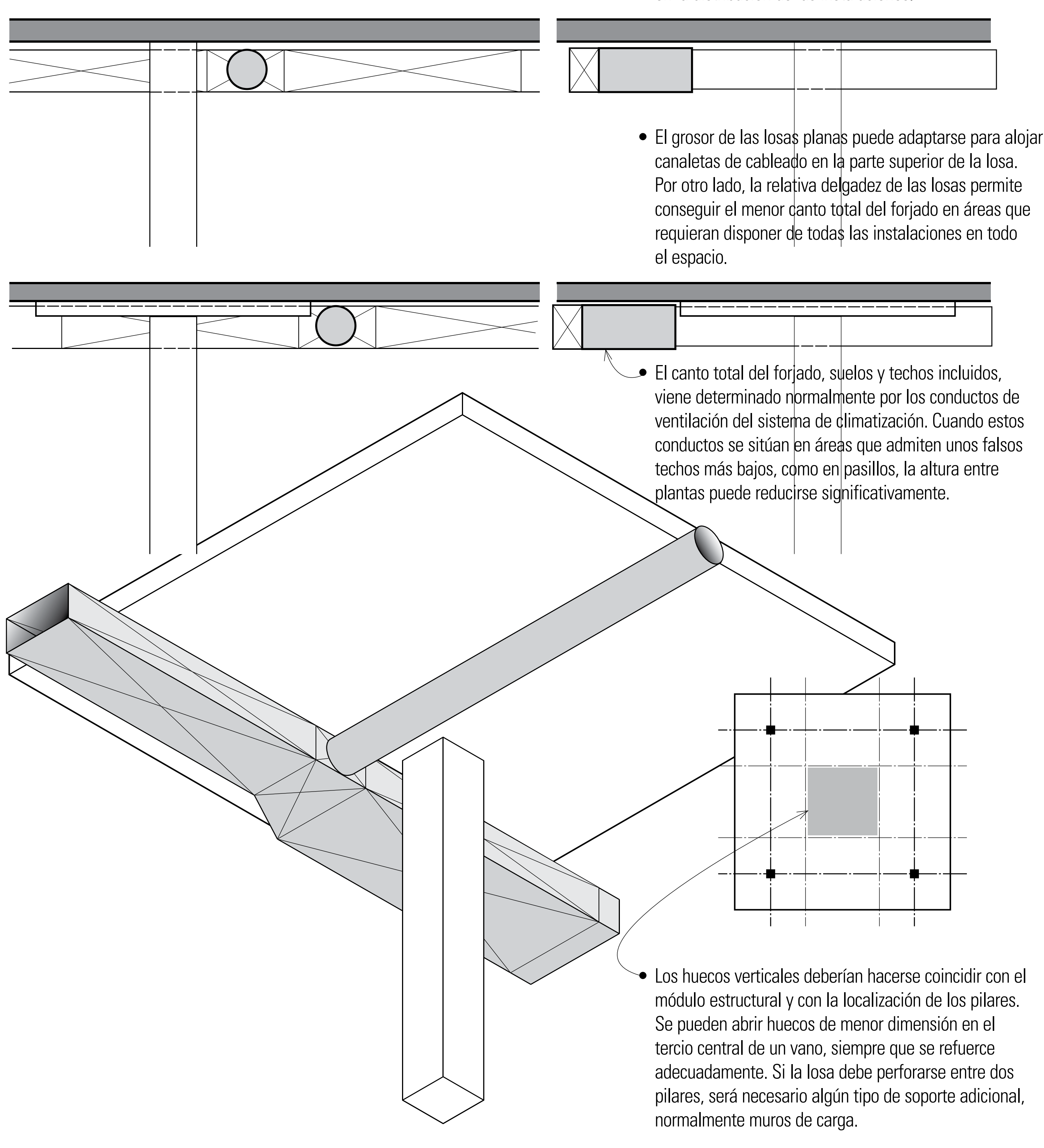


- Los pedestales son ajustables para proporcionar alturas de entre 30 y 75 cm; también hay modelos con alturas mínimas de hasta 20 cm.
- Los sistemas que utilizan travesaños tienen mayor estabilidad lateral que los sistemas que carecen de ellos; también hay disponibles pedestales sísmicos que cumplen la normativa técnica de estabilidad lateral.
- Las cargas de diseño van de 12 a 30 kN/m^2, pero existen modelos que alcanzan los 54 kN/m^2 para soportar las cargas más pesadas.
- El espacio bajo el suelo técnico se aprovecha para la instalación del sistema eléctrico, cajas de conexión, así como cableado de los sistemas informáticos, de seguridad y de comunicaciones.
- Es posible que ciertos sistemas, como la iluminación, los rociadores automáticos o los equipos de ventilación tengan en todo caso que penetrar en el forjado.

- El espacio intersticial puede utilizarse también como plénum para distribuir aire por su interior, permitiendo así que el plénum del techo se utilice solo para el retorno del aire. Si se separa el suministro de aire frío del retorno de aire caliente puede reducirse el consumo de energía. Reducir la altura de los plénums también reduce la altura entre forjados del nuevo edificio.

Losas planas y con ábacos

- Debido al espacio sin obstáculos bajo las losas planas y entre los ábacos, los conductos de las instalaciones se pueden disponer en cualquier zona y dirección, proporcionando la máxima flexibilidad y adaptabilidad en la distribución de las instalaciones.



- El grosor de las losas planas puede adaptarse para alojar canaletas de cableado en la parte superior de la losa. Por otro lado, la relativa delgadez de las losas permite conseguir el menor canto total del forjado en áreas que requieran disponer de todas las instalaciones en todo el espacio.

- El canto total del forjado, suelos y techos incluidos, viene determinado normalmente por los conductos de ventilación del sistema de climatización. Cuando estos conductos se sitúan en áreas que admiten unos falsos techos más bajos, como en pasillos, la altura entre plantas puede reducirse significativamente.

- Los huecos verticales deberían hacerse coincidir con el módulo estructural y con la localización de los pilares. Se pueden abrir huecos de menor dimensión en el tercio central de un vano, siempre que se refuerce adecuadamente. Si la losa debe perforarse entre dos pilares, será necesario algún tipo de soporte adicional, normalmente muros de carga.



Vigas y losas unidireccionales

- Las instalaciones suelen situarse por debajo de la viga, excepto algunos ramales cortos que pueden discurrir en paralelo a las vigas entre jácenas y jácena.

- La colocación de los conductos mayores paralelos a las jácenas puede reducir el canto total del forjado.
- Pueden efectuarse pequeñas perforaciones sin que se resienta el comportamiento estructural de las losas apoyadas sobre vigas. Como regla general, debería añadirse el equivalente de la armadura interrumpida a los lados de la abertura, además de añadir barras diagonales adicionales en las esquinas para evitar la aparición de grietas.

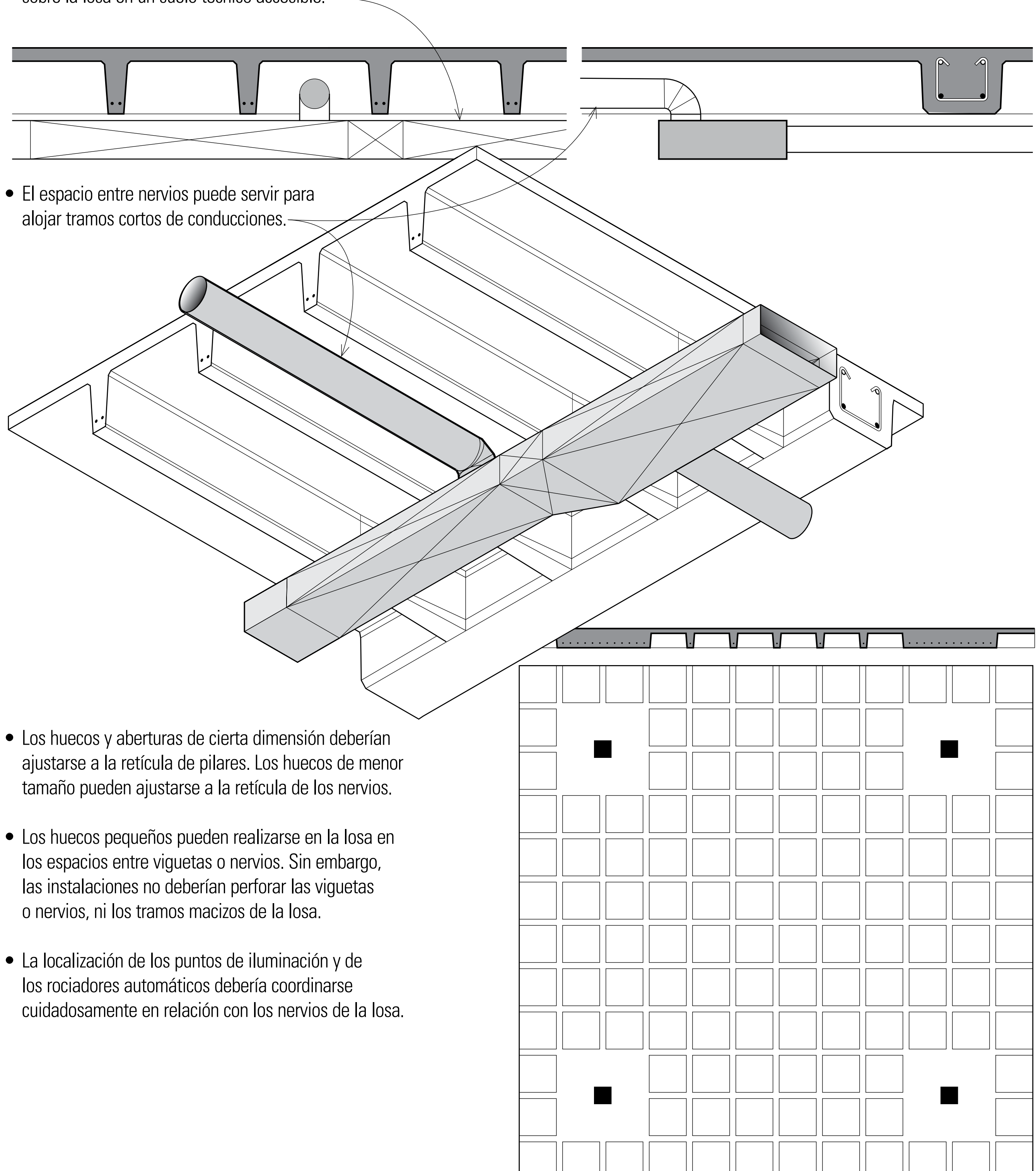
- Si la losa debe perforarse entre dos pilares, se requerirá algún tipo de soporte adicional, generalmente muros de carga.

- Los huecos en la losa para el paso de conductos verticales deberían ajustarse dentro del espacio de separación entre vigas. En cualquier caso, puede modificarse la distribución regular de las vigas para permitir huecos mayores.
- La flexibilidad del sistema de losas sobre vigas permite la integración espacial y estructural de módulos prefabricados.

Losas nervadas

- Las instalaciones suelen situarse por debajo de los nervios de la losa. Si se desea dejar a la vista la cara inferior de la losa, las instalaciones pueden colocarse sobre la losa en un suelo técnico accesible.

- El espacio entre nervios puede servir para alojar tramos cortos de conducciones.



- Los huecos y aberturas de cierta dimensión deberían ajustarse a la retícula de pilares. Los huecos de menor tamaño pueden ajustarse a la retícula de los nervios.

- Los huecos pequeños pueden realizarse en la losa en los espacios entre viguetas o nervios. Sin embargo, las instalaciones no deberían perforar las viguetas o nervios, ni los tramos macizos de la losa.

- La localización de los puntos de iluminación y de los rociadores automáticos debería coordinarse cuidadosamente en relación con los nervios de la losa.



Placas prefabricadas de hormigón

- Las instalaciones discurren por debajo de las vigas de apoyo, excepto en aquellos tramos cortos que puedan discurrir paralelos a las vigas.

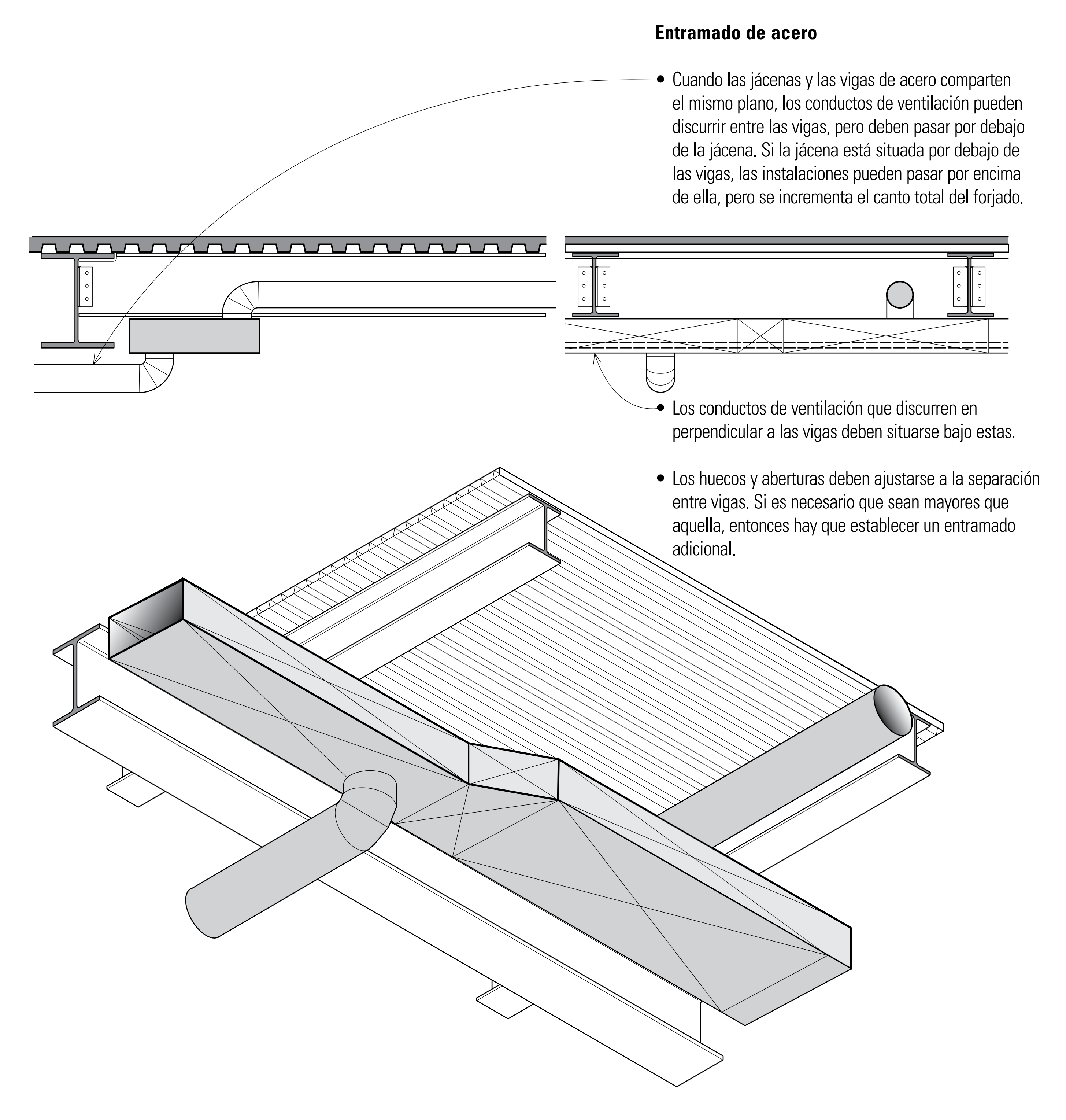
- Disponer los conductos de ventilación de mayores dimensiones en paralelo a las jácenas puede reducir el canto total del forjado.
- Las aberturas de pequeño tamaño para las tuberías de suministro de agua pueden realizarse en el lugar.

- Las cavidades de las placas alveolares pueden utilizarse para las conducciones eléctricas; para los recorridos en perpendicular se pueden incorporar canaletas de cableado en la capa de compresión.

- Si la cara inferior de las placas de hormigón va a quedar a la vista, se requerirá un mayor cuidado y planificación en la disposición y la colocación de los conductos de ventilación para obtener la apariencia deseada. La decisión de dejar las placas expuestas también puede tener consecuencias indeseables, como la necesidad de dejar visibles y accesibles el cableado eléctrico o las derivaciones horizontales de fontanería.

- Los huecos verticales deberían ajustarse a la separación de las vigas. Pueden realizarse muy fácilmente aberturas que se ajusten a la anchura de una placa, simplemente apoyando la placa recortada en las placas contiguas; si se necesitan aberturas de dimensiones mayores, habrá que plantear vigas o muros de carga adicionales.

Entramado de acero



- Cuando las jácenas y las vigas de acero comparten el mismo plano, los conductos de ventilación pueden discurrir entre las vigas, pero deben pasar por debajo de la jácena. Si la jácena está situada por debajo de las vigas, las instalaciones pueden pasar por encima de ella, pero se incrementa el canto total del forjado.

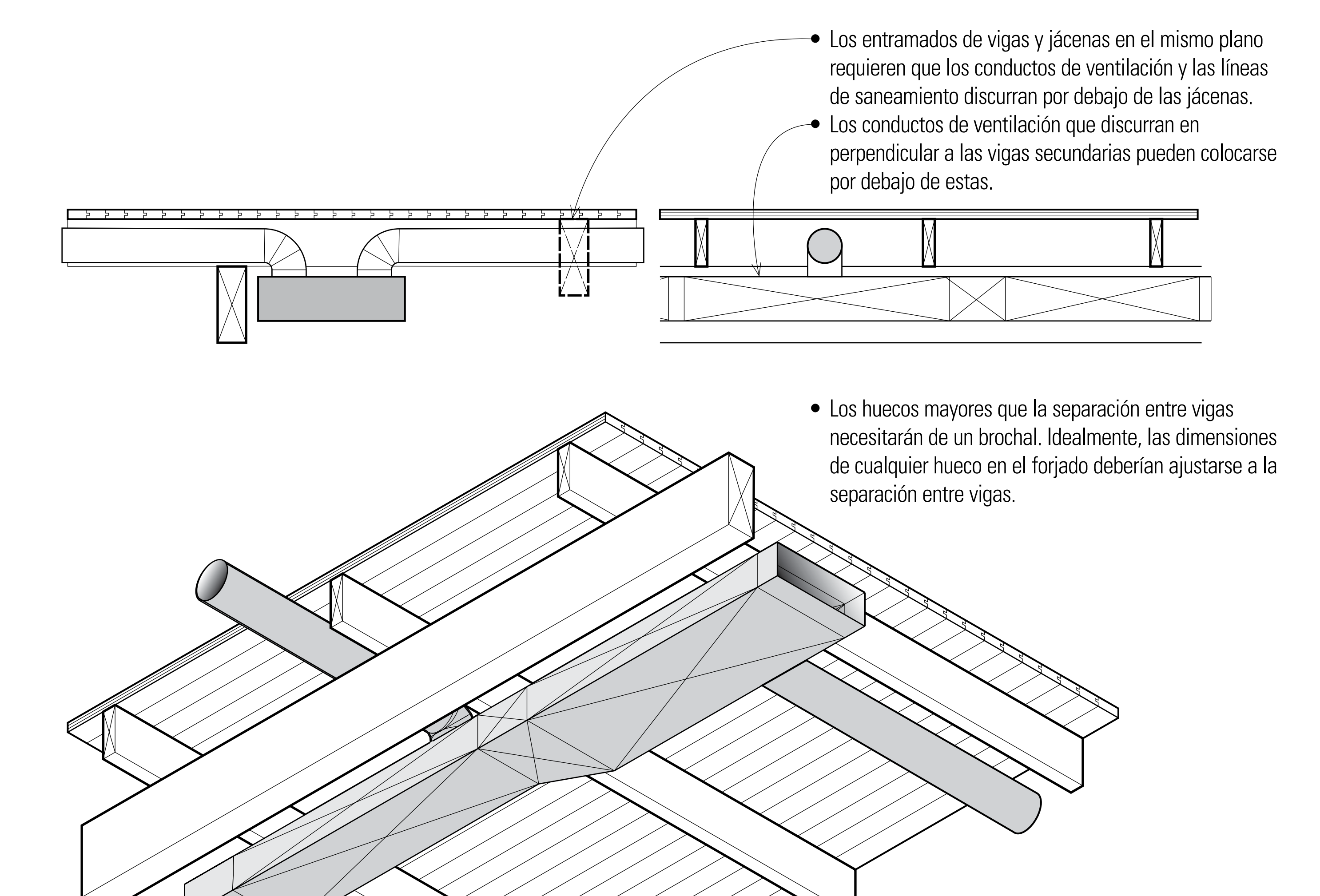
- Los conductos de ventilación que discurren en perpendicular a las vigas deben situarse bajo estas.

- Los huecos y aberturas deben ajustarse a la separación entre vigas. Si es necesario que sean mayores que aquella, entonces hay que establecer un entramado adicional.

- Cuando sea necesario pueden modificarse y reforzarse las vigas de acero para alojar las instalaciones dentro de sus alas. También pueden fabricarse vigas a medida inclinadas, acarteladas o aligeradas con el fin de liberar espacio para las instalaciones. Véase pág. 291.

Construcciones de entramado pesado

- Los entramados de vigas y jácenas en el mismo plano requieren que los conductos de ventilación y las líneas de saneamiento discurran por debajo de las jácenas.
- Los conductos de ventilación que discurran en perpendicular a las vigas secundarias pueden colocarse por debajo de estas.



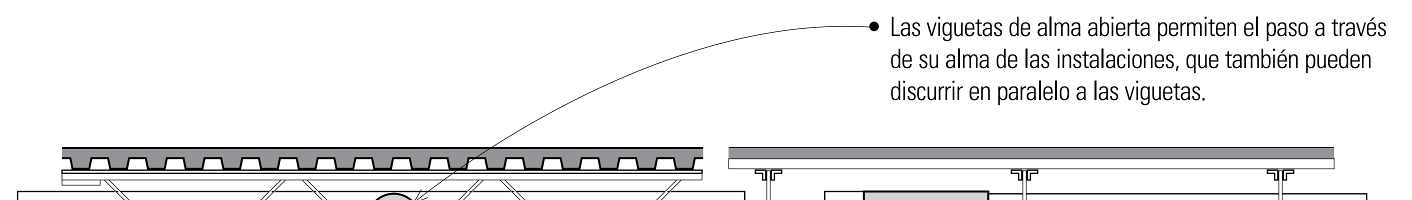
- Los huecos mayores que la separación entre vigas necesitarán de un brochal. Idealmente, las dimensiones de cualquier hueco en el forjado deberían ajustarse a la separación entre vigas.

- Puesto que, a diferencia de las viguetas, las vigas actúan como elementos estructurales independientes, no es muy recomendable pasar cableados y tuberías a través de las vigas. Si es imprescindible realizar perforaciones en las vigas de madera para el paso de instalaciones, deben situarse en aquellos puntos en los cuales las tensiones de flexión y cortante sean mínimas. En el caso de un vano sencillo, sería en el tercio central de la viga, y en el tercio central de la sección transversal.

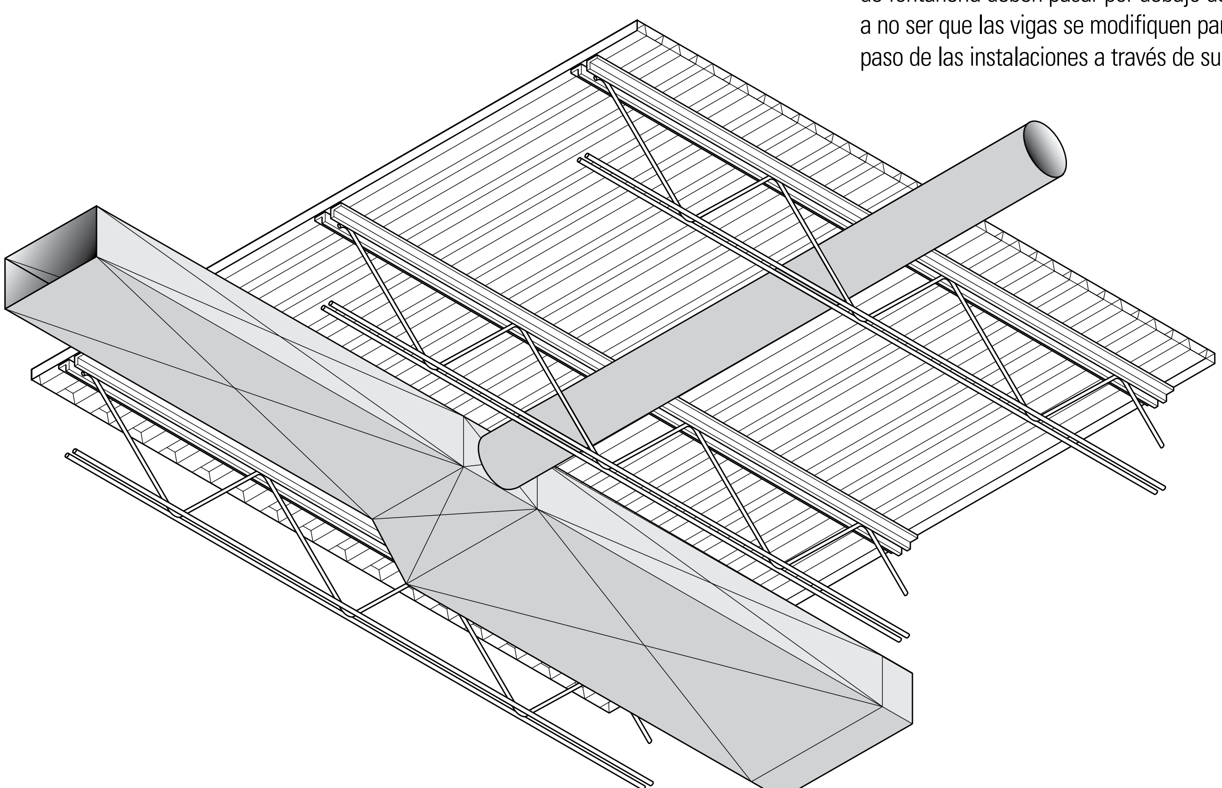
- Si el entablado de madera apoyado sobre las vigas va a dejarse visto como acabado de techo, debe aplicarse especial cuidado a la organización y disposición de los conductos de ventilación para obtener la apariencia deseada. La decisión de dejar el entablado expuesto también puede tener consecuencias indeseables, como la necesidad de dejar visibles y accesibles el cableado eléctrico o las derivaciones horizontales de fontanería.

Viguetas de alma abierta

- Las viguetas de alma abierta permiten el paso a través de su alma de las instalaciones, que también pueden discurrir en paralelo a las viguetas.



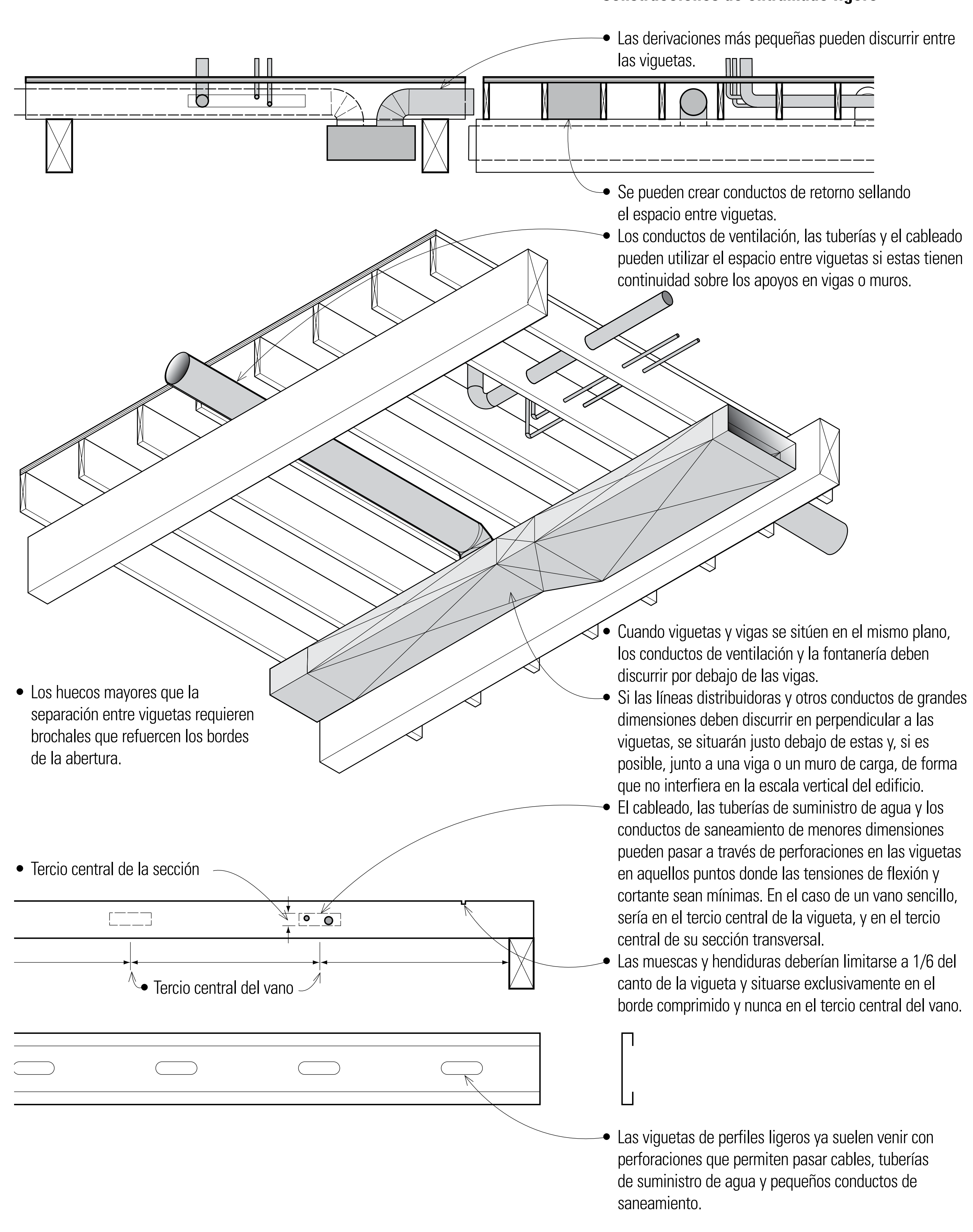
- Cuando las viguetas de alma abierta se apoyan sobre vigas de acero, los conductos de ventilación y las redes de fontanería deben pasar por debajo de las mismas, a no ser que las vigas se modifiquen para permitir el paso de las instalaciones a través de sus almas.



- El apoyo de las viguetas de alma abierta sobre cerchas o vigas de celosía puede permitir que las instalaciones que discurren en paralelo a las viguetas atraviesen las vigas. Nótese que una viga de celosía normalmente tendrá un canto mayor que una viga maciza que asuma una carga equivalente, lo cual supondrá un mayor canto de forjado.

- Los huecos pequeños pueden salvarse soportando las viguetas en brochales sencillos de perfiles angulares que apoyen en las vigas. Aberturas mayores, sin embargo, necesitarán una reorganización del entramado estructural de acero.

Construcciones de entramado ligero



BIBLIOGRAFÍA

Allen, Edward y Iano, Joseph, *The Architect's Studio Companion: Rules of Thumb for Preliminary Design*, John Wiley & Sons, Hoboken, 2006.

Ambrose, James, *Building Structures Primer*, John Wiley & Sons, Nueva York, 1981.

—, *Building Structures*, John Wiley & Sons, Nueva York 1993 (versión castellana: *Estructuras*, Limusa, Madrid, 1998).

Arnold, Christopher; Eisner, Richard y Elsesser, Eric, *Buildings At Risk: Seismic Design Basics for Practicing Architects*, AIA/ACSA Council on Architectural Research and NHRP (National Hazards Research Program), Washington, 1994.

Beedle, Lynn S., *et al.*, *Structural Steel Design*, The Ronald Press, Nueva York, 1964.

Bovill, Carl, *Architectural Design: Integration of Structural and Environmental Systems*, Van Nostrand Reinhold, Nueva York, 1991.

Breyer, Donald, *Design of Wood Structures*, McGraw-Hill, Nueva York, 1993.

Charleson, Andrew, *Structure as Architecture – A Source Book for Architects and Structural Engineers*, Elsevier, Ámsterdam, 2005 (versión castellana: *La estructura como arquitectura*, Reverté, Barcelona, 2007).

Ching, Francis D. K., *A Visual Dictionary of Architecture*, Van Nostrand Reinhold, Nueva York, 1997 (versión castellana: *Diccionario visual de arquitectura*, Editorial Gustavo Gili, Barcelona, 2008).

—, *Building Construction Illustrated*, John Wiley & Sons, Hoboken, 2008.

—, *Architecture – Form, Space, and Order*, John Wiley & Sons, Hoboken, 2007 (versión castellana: *Arquitectura. Forma, espacio y orden*, Editorial Gustavo Gili, Barcelona, 2011).

— y Winkel, Steven, *Building Codes Illustrated – A Guide to Understanding the 2006 International Building Code*, John Wiley & Sons, Hoboken, 2007.

—; Jarzombek, Mark y Prakash, Vikramaditya, *A Global History of Architecture*, John Wiley & Sons, Hoboken, 2007 (versión castellana: *Una historia universal de la arquitectura* [2 vols.], Editorial Gustavo Gili, Barcelona, 2011).

Corkill, P. A.; Puderbaugh, H. L. y Sawyers, H. K., *Structure and Architectural Design*, Market Publishing, Davenport, 1993.

Cowan, Henry y Wilson, Forrest, *Structural Systems*, Van Nostrand Reinhold, Nueva York, 1981.

Crawley, Stan y Ward, Delbert, *Seismic and Wind Loads in Architectural Design: An Architect's Study Guide*, The American Institute of Architects, Washington, 1990.

Engel, Heino, *Tragsysteme*, Hatje Cantz, Ostfildern, 1997 (versión castellana: *Sistemas de estructuras*, Editorial Gustavo Gili, Barcelona, 2001).

Fischer, Robert (ed.), *Engineering for Architecture*, McGraw-Hill, Nueva York, 1980.

Goetz, Karl-Heinz, *et al.*, *Timber Design and Construction Sourcebook*, McGraw-Hill, Nueva York, 1989.

Guise, David, *Design and Technology in Architecture*, John Wiley & Sons, Nueva York, 1983.

Hanaor, Ariel, *Principles of Structures*, Blackwell Science, Cambridge, 1992.

Hart, F., Henn, W. y Sontag, H., *Multi-Storey Buildings in Steel*, Crosby Lockwood and Staples, Londres, 1978 (edición castellana: *El atlas de la construcción metálica. Casas de pisos*, Editorial Gustavo Gili, Barcelona, 1976).

Hilson, Barry, *Basic Structural Behaviour– Understanding Structures from Models*, Thomas Telford, Londres, 1993.

Hoke, John Ray Jr. (ed.), *Architectural Graphic Standards*, John Wiley & Sons, Nueva York, 1994 (versión castellana: *Estándares gráficos de arquitectura*, UTEHA, Ciudad de México, 1962).

Howard, H. Seymour Jr., *Structure – An Architect's Approach*, McGraw-Hill, Nueva York, 1966.

Hunt, Tony, *Tony Hunt's Sketchbook*, Architectural Press, Oxford, 1999.

—, *Tony Hunt's Structures Notebook*, Architectural Press, Oxford, 1997.

Johnson, Alford y Szrom, Darren (eds.), *Designing with Structural Steel: A Guide for Architects*, American Institute of Steel Construction, Chicago, 1998.

Kellogg, Richard, *Demonstrating Structural Behavior with Simple Models*, Graham Foundation, Chicago, 1994.

Levy, Matthys y Salvadori, Mario, *Why Buildings Fall Down: How Structures Fail*, W. W. Norton & Co., Nueva York, 1992.

Lin, T. Y. y Stotesbury, Sidney, *Structural Concepts and Systems for Architects and Engineers*, John Wiley & Sons, Nueva York, 1981 (versión castellana: *Conceptos y sistemas estructurales para arquitectos e ingenieros*, Limusa, Madrid, 1991).

Lindeburg, Michael, *Seismic Design of Building Structures*, Professional Publications, Belmont, 1990.

Macdonald, Angus, *Structural Design for Architecture*, Architectural Press, Oxford, 1997.

Millais, Malcolm, *Building Structures – From Concepts to Design*, Spon Press, Londres, 2005 (versión castellana: *Estructuras de edificación*, Celeste, Madrid, 1997).

Moore, Fuller, *Understanding Structures*, McGraw-Hill, Boston, 1999 (versión castellana: *Comprensión de las estructuras en arquitectura*, McGraw-Hill, Madrid, 2000).

Nilson, Arthur y Winter, George, *Design of Concrete Structures*, McGraw-Hill, Nueva York, 1991 (versión castellana: *Proyecto de estructuras de hormigón*, Reverté, Barcelona, 1986).

Onouye, Barry y Kane, Kevin, *Statics and Strength of Materials for Architecture and Building Construction*, Prentice Hall, Columbus, 2007.

Popovic, O. Larsen y Tyas, A., *Conceptual Structural Design: Bridging the Gap Between Architects and Engineers*, Thomas Telford Publishing, Londres, 2003.

Pressman, Andrew (ed.), *Architectural Graphic Standards*, John Wiley & Sons, Hoboken, 2007.

Reid, Esmond, *Understanding Buildings– A Multidisciplinary Approach*, The MIT Press, Cambridge (Mass.), 1984.

Salvadori, Mario, *Why Buildings Stand Up: The Strength of Architecture*, W.W. Norton & Co., Nueva York, 1980.

— y Heller, Robert, *Structure in Architecture: The Building of Buildings*, Prentice Hall, Englewood Cliffs, 1986 (versión castellana: *Estructuras para arquitectos*, Nobuko, Buenos Aires, 2005).

Seismic Design for Buildings– TM 5-809-10/Navfac P-355, Departments of the Army, the Navy and the Air Force, Washington, 1973.

Schodek, Daniel, *Structures*, Prentice Hall, Englewood Cliffs, 2004.

Schueller, Wolfgang, *Horizontal Span Building Structures*, John Wiley & Sons, Nueva York, 1983.

—, *The Design of Building Structures*, Prentice Hall, Englewood Cliffs, 1996.

Siegel, Curt, *Structure and Form in Modern Architecture*, Reinhold, Nueva York, 1962 (versión castellana: *Formas estructurales de la arquitectura moderna*, Compañía Editorial Continental, Ciudad de México, 1966).

White, Richard y Salmon, Charles (eds.), *Building Structural Design Handbook*, John Wiley & Sons, Nueva York, 1987.

Williams, Alan, *Seismic Design of Buildings and Bridges for Civil and Structural Engineers*, Engineering Press, Austin, 1998.

ÍNDICE